



Flávio Augusto Rocha Cardoso

Mestre em Engenharia Civil

Proposta de Implementação de Cartas de Controlo na Gestão de Projetos pela Cadeia Crítica

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Alexandra Maria Baptista Ramos Tenera,
Professora Auxiliar, FCT-UNL

Coorientadores: José Fernando Gomes Requeijo,
Professor Auxiliar, FCT-UNL

Júri:

Presidente: José Martin Miquel Cabeças,
Professor Auxiliar, FCT-UNL

Arguente: Anabela Pereira Tereso,
Professor Auxiliar, UM

Vogal: Alexandra Maria Baptista Ramos Tenera,
Professor Auxiliar, FCT-UNL

Proposta de Implementação de Cartas de Controlo na Gestão de Projetos Pela Cadeia Crítica

Copyright © Flávio Augusto Rocha Cardoso, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Aos meus Pais,
Aos meus Irmãos,
Em memória do Diogo,
Em memória dos meus Avós.

“Não há ventos favoráveis para quem não conhece o seu rumo.”

Sêneca

Agradecimentos

Gostaria de deixar o meu mais profundo reconhecimento a todos os que me apoiaram e motivaram na realização desta dissertação, pela sua disponibilidade, dedicação e compreensão. No entanto, não posso deixar de particularizar alguns agradecimentos especiais.

À Professora Alexandra Tenera pelo apoio prestado, pelo rigor, pelos conhecimentos transmitidos e pela forma sempre disponível com que orientou esta dissertação.

Agradeço o apoio prestado pelo Professor José Requeijo no que diz respeito à coorientação deste trabalho.

À Marinha Portuguesa, em especial à Direção de Navios, onde foi possível testar a metodologia proposta. Agradeço em particular ao Eng.º Rijo Carola, ao Eng.º Ferreira Rodrigues, ao Eng.º Leal das Neves e ao Eng.º Fonseca. Agradeço ainda, ao Pedro Catarino, ao Dinis Santos, ao André Teixeira e ao João Pedro pela amizade e camaradagem transmitida ao longo deste últimos dois anos.

Agradeço ao Sr.º Joaquim Monteiro e ao Dinis Santos pela revisão da dissertação e pelos conhecimentos transmitidos, e ao Jorge Soares e à Patrícia Pereira pela revisão do *Abstract*.

À Carlota Ramos, ao Tiago Simões, ao David Faria e ao Gustavo Lopes, um especial obrigado, pela compreensão, companheirismo e amizade demonstrada ao longo do mestrado.

À Maria Anita, à Ana Gomes, ao António Guedes, ao Jorge Ribeirinho, ao Hugo Oliveira e ao José Mário, um muito obrigado, pois, apesar de não terem contribuído diretamente para este trabalho, desempenharam um papel fundamental, com a sua presença e acima de tudo com a sua amizade.

Ao meu cunhado Cédric, pelo apoio, amizade e boa disposição.

À Inês Jales, por todo o amor, dedicação, compreensão e principalmente pela amizade transmitida ao longo de todos estes anos.

Aos meus irmãos, por serem um modelo de dedicação e empenho, por todo o amor, amizade e companheirismo.

Aos meus pais, pelo seu infindável amor, apoio e dedicação. A eles devo tudo.

Resumo

O risco de ocorrência de desvios significativos dos custos orçamentados e de incumprimento dos prazos de execução constituem duas das principais preocupações da gestão de projetos. A derrapagem de prazos de projetos é um dos motivos apontados para a falta de competitividade da indústria portuguesa (Tenera, 2012). Estes atrasos, para além de falta de competitividade, podem resultar ainda, por exemplo, em sanções financeiras e perda de confiança dos clientes.

Goldratt, em 1997, alertou que as limitações das técnicas clássicas de planeamento e controlo poderiam estar na origem do não cumprimento dos prazos dos projetos, propondo a aplicação da Teoria das Restrições à gestão de projetos, a Gestão de Projetos pela Cadeia Crítica (*Critical Chain Project Management* - CCPM).

A CCPM tem os seus princípios vocacionados para a gestão do tempo e introduz mudanças significativas na forma como os projetos são geridos, preconizando uma redução nas durações programadas das atividades, para contrariar tendências comportamentais humanas de atrasar a execução das tarefas, introduzindo ainda estrategicamente reservas temporais agregadas, que procuram proteger o projeto de derrapagens temporais. Um dos principais fatores de diferenciação da CCPM é precisamente a forma de monitorizar os projetos, sendo a Gestão das Reservas (*Buffer Management* - BM) o principal mecanismo de gestão do tempo de execução dos mesmos.

No presente trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica dos conceitos associados à gestão de riscos em geral e em particular à gestão de tempo em projetos, através da CCPM. Estudou-se ainda, a metodologia geral de implementação das cartas de controlo, com o objetivo de se desenvolver um modelo adaptado ao controlo de reservas temporais em projetos.

Assim, e de acordo com o estudo realizado, foi proposto, desenvolvido e implementado um modelo, que complementa a gestão clássica de reservas temporais da CCPM com a utilização de cartas de controlo. O modelo proposto foi testado numa empreitada de reabilitação de edifícios, na Marinha Portuguesa, com o objetivo de se avaliar a sua aplicabilidade, as suas vantagens e limitações.

No presente trabalho procurou-se propor e implementar um modelo robusto de gestão de reservas na CCPM, com aplicabilidade efetiva à gestão de riscos de derrapagem de prazos de projetos, não só na indústria da construção civil como em projetos de outras áreas.

Com a aplicação do modelo proposto num caso de estudo, foi possível concluir o projeto dentro do prazo contratualizado, tendo-se verificado que a implementação de cartas de controlo na BM permitiu antecipar a deteção de consumos excessivos das reservas temporais do projeto.

Palavras-chave: Análise e Gestão de Riscos; Gestão de Tempo; Teoria das Restrições; Gestão de Projetos pela Cadeia Crítica; Gestão de Reservas; Cartas de Controlo.

Abstract

The risk of having meaningful deviations to the planned budget and to fail the project's deadlines is a main concern on project management practices. Consecutive delays in project can be one of the main reason for the lack of competitiveness on the Portuguese industry (Tenera, 2012). These delays, in addition to the lack of competitiveness, may result in additional financial charges and to loss of the client's trust.

Goldratt, in 1997, warned that the limitations of the classical planning and controlling techniques could be the cause of failure to achieve the project's deadlines, proposing the application of the Theory of Constraints (TOC) to the project management, best known as the Critical Chain Project Management (CCPM).

The CCPM focuses on time management and introduces significant changes in the way projects are managed. This approach suggests a reduction of the duration of the programmed tasks to contradict the human behavioural trend to delay them, and strategically introducing time buffers that aim to protect the project time slippage. One of the main differences of CCPM is precisely the project monitoring capacity, with the Buffer Management (BM) being the main mechanism of executing time management.

In the present study a literature review of the concepts associated to risk management in general and particularly to time management of projects, through the CCPM, was done. It was also reviewed the general methodology of implementation of control charts, in order to develop a model adapted to control time buffers in projects.

Thus, and according to this study, it was proposed, developed and implemented a model that complements the classic time buffers management in CCPM with the use of control charts. The model was tested on a project that consists in a building refurbishment from the Portuguese Navy in order to assess its applicability, advantages and limitations.

The present study aimed to propose and implement a robust model of Buffers Management in CCPM, applicable effectively to the time risk management, not only in the construction industry but also in other project areas.

With the application of the proposed model in a case study, it was possible to complete the project within the deadline agreed, having found that the implementation of control charts in the BM allowed to anticipate the detection of excessive consumption of project time buffers.

Keywords: Analysis and Risk Management; Time Management; Theory of Constraints; Critical Chain Project Management; Buffer Management; Control Charts.

Lista de Abreviaturas e Nomenclaturas

ALAP	<i>As Late As Possible</i> Tão Tarde Quanto Possível
ARL	<i>Average Run Length</i> Número Médio de Amostras
ASAN	<i>As Soon As Needed</i> Tão Cedo Quanto Necessário
ASAP	<i>As Soon As Possible</i> Tão Cedo Quanto Possível
BM	<i>Buffer Management</i> Gestão de Reservas
CC	<i>Critical Chain</i> Cadeia Crítica
CCPM	<i>Critical Chain Project Management</i> Gestão de Projetos pela Cadeia Crítica
C_E	Consumo da Reserva Expectável
C_{FR}	Consumo do Final da Reserva
CPM	<i>Critical Path Method</i> Método do Caminho Crítico
C_R	Consumo da Reserva
CUSUMQ	<i>Cumulative Sum Q</i> Soma Acumulada Q
DR	Dimensões da Reserva
DN	Direção de Navios
EWMAQ	<i>Exponentially Weighted Moving Average Q</i> Média Móvel Exponencial Amortecida Q
FB	<i>Feeding Buffers</i> Reservas de Alimentação
I_{CR}	Indicador do Consumo Real da Reserva

LC	Linha Central
LIC	Limite Inferior de Controlo
LSC	Limite Superior de Controlo
M50	Método dos 50 – 50%
MCS	<i>Monte Carlo Simulation</i> Simulação de Monte Carlo
MS	Microsoft
PB	<i>Project Buffer</i> Reserva do Projeto
RB	<i>Resource Buffers</i> Reservas de Recursos
RCPSP	<i>Resource Constrained Project Scheduling Problem</i> Problemas de Programação de Projetos com Recursos Limitados
RQE	Método da Raiz Quadrada do Erro
SMC	Simulação para a Melhoria da Calendarização
SPC	<i>Statistical Process Control</i> Controlo Estatístico dos Processos
SQR	<i>Square Root of the Sum of the Squares</i> Raiz Quadrada da Soma dos Quadrados
SWOT	<i>Strengths, Weakness, Opportunities and Threats</i> Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças
TOC	<i>Theory of Constraints</i> Teoria das Restrições

Índice

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. ENQUADRAMENTO DO ESTUDO	1
1.2. OBJETIVOS DA INVESTIGAÇÃO.....	1
1.3. METODOLOGIA DO ESTUDO.....	2
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	3
2. ANÁLISE DE RISCOS E GESTÃO DE PROJETOS PELA CADEIA CRÍTICA	5
2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	5
2.2. GESTÃO DE RISCOS	5
2.2.1. Fases da Gestão de Riscos	6
2.2.2. Gestão de Riscos de Derrapagem de Prazos nos Projetos.....	8
2.3. GESTÃO DE PROJETO PELA CADEIA CRÍTICA.....	8
2.3.1. Introdução à Teoria das Restrições	8
2.3.2. Síntese do Método da Cadeia Crítica	9
2.3.3. Gestão e Dimensionamento de Reservas Temporais	15
3. CARTAS DE CONTROLO: PEQUENAS PRODUÇÕES	21
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	21
3.2. CARTAS DE CONTROLO TRADICIONAIS.....	21
3.3. CONTROLO ESTATÍSTICO DE “PEQUENAS PRODUÇÕES”	27
3.3.1. Carta Q para Observações Individuais e Amplitudes Móveis	28
3.3.2. Carta de Controlo CUSUMQ.....	30
3.3.3. Cartas de Controlo EWMAQ	31
3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
4. GESTÃO DE RESERVAS: MODELO PROPOSTO	33
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	33
4.2. PLANEAMENTO E PROGRAMAÇÃO DO PROJETO (F1).....	34
4.2.1. Estimar as Durações das Atividades (F1.P1)	34
4.2.2. Definir a Rede e Calendarizar o Projeto (F1.P2)	35

4.2.3.	Resolver os Conflitos de Recursos (F1.P3).....	35
4.2.4.	Identificar a Cadeia Crítica (F1.P4)	36
4.2.5.	Dimensionar e Inserir as Reservas (F1.P5).....	36
4.2.6.	Aprovar o Plano de Trabalhos (F1.P6).....	37
4.3.	CONTROLO E AVALIAÇÃO DO PROJETO (F2).....	37
4.3.1.	Controlar e Atualizar o Programa de Trabalhos (F2.P1)	37
4.3.2.	Avaliar o Plano de Trabalhos (F2.P2)	38
4.4.	GESTÃO DO PROJETO (F3)	39
4.4.1.	Gerir o Plano de Trabalhos (F3.P1)	40
4.4.2.	Retirar “Lições Aprendidas” e Atualizar Processos (F3.P2).....	42
4.4.3.	Compilar, Distribuir e Arquivar Documentação (F3.P3).....	42
4.5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
5.	IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO PROPOSTO: CASO DE ESTUDO	43
5.1.	OBJETIVOS E ENQUADRAMENTO DO ESTUDO	43
5.2.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	43
5.2.1.	Planeamento e Programação do Projeto (F1)	43
5.2.2.	Controlo e Avaliação do Projeto (F2)	47
5.2.3.	Gestão do Projeto (F3)	53
6.	PRINCIPAIS CONCLUSÕES E FUTUROS DESENVOLVIMENTOS	55
6.1.	PRINCIPAIS CONCLUSÕES E CONTRIBUIÇÕES DO ESTUDO	55
6.1.1.	Estudo Bibliográfico	55
6.1.2.	Modelo Proposto e Caso de Estudo.....	55
6.2.	FUTUROS DESENVOLVIMENTOS.....	56
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
	ANEXOS	59
	ANEXO I – ÁBACOS PARA AS CARTAS CUSUMQ	59
	ANEXO II – ÁBACOS PARA AS CARTAS EWMAQ	60
	ANEXO III – ANÁLISE DAS RESERVAS: CASO DE ESTUDO	61
	ANEXO IV – PLANO BASE DO PROJETO.....	80

Índice de Figuras

Figura 1. 1 – Metodologia do Estudo.....	2
Figura 2. 1 – Principais Fases do Processo de Gestão de Riscos.....	6
Figura 2. 2 – Distribuição Típica da Duração de uma Atividade na CCPM.....	11
Figura 2. 3 – Lógica Processual da Programação da CC.....	12
Figura 2. 4 – Exemplo de Localização da PB e das FB's.....	13
Figura 2. 5 – Quebra na CC.....	14
Figura 2. 6 – Dimensão da PB.....	18
Figura 2. 7 – Dimensão Média das FB's.....	19
Figura 2. 8 – Rácio Duração Simulada vs Programada.....	19
Figura 2. 9 – Gestão de Reservas.....	20
Figura 3. 1 – Carta de Controlo.....	22
Figura 3. 2 – Regras de Detecção de Causas Especiais.....	24
Figura 4. 1 – Fluxograma do Modelo Proposto.....	33
Figura 4. 2 – Primeira Fase do Método Proposto.....	34
Figura 4. 3 – Método Simulação de Monte Carlo.....	36
Figura 4. 4 – Dimensionamento das Reservas no ProChain.....	36
Figura 4. 5 – Exemplo do Gráfico do Consumo das Reservas.....	38
Figura 4. 6 – Processo de Construção das Cartas de Controlo.....	39
Figura 4. 7 – Fluxograma da 3ª Fase do Modelo Proposto.....	39
Figura 4. 8 – Fluxograma do Processo de Gestão das Reservas.....	40
Figura 4. 9 – Exemplo do Gráfico do Consumo da PB.....	41
Figura 4. 10 – Exemplo da Carta CUSUMQ da PB.....	41
Figura 5. 1 – Duração das Atividades do Projeto.....	44
Figura 5. 2 – Inserção das Reservas com Recurso ao ProChain.....	45
Figura 5. 3 – Distribuição da Criticidade das Atividades do Projeto.....	46
Figura 5. 4 – Extrato do Programa Base do Projeto.....	47
Figura 5. 5 – Exemplo da Atualização do Plano de Trabalhos no MS Project.....	47
Figura 5. 6 – Gráfico do Consumo da PB.....	49
Figura 5. 7 – Carta Q (X) da PB.....	49
Figura 5. 8 – Carta Q (MR) da PB.....	50

Figura 5. 9 – Carta CUSUMQ da PB.	50
Figura 5. 10 – Gráfico do Consumo da FB2.	51
Figura 5. 11 – Carta Q(X) da FB3.	51
Figura 5. 12 – Gráfico do Consumo da FB3.	52
Figura 5. 13 – Carta CUSUMQ da FB3.	52
Figura 5. 14 – Carta EWMAQ da FB3.	53
Figura I. 1 – Valor de k e h da Carta CUSUMQ	59
Figura II. 1 – Valor λ , da Carta EWMAQ.....	60
Figura II. 2 – Valor λ e k , da Carta EWMAQ.....	60
Figura III. 1 – Gráfico do Consumo da PB.	62
Figura III. 2 – Carta Q (X) da PB.....	62
Figura III. 3 – Carta Q (MR) da PB.	62
Figura III. 4 – Carta CUSUMQ da PB.	65
Figura III. 5 – Carta EWMAQ da PB.....	65
Figura III. 6 – Gráfico do Consumo da FB1.	66
Figura III. 7 – Carta Q (X) da FB1.....	67
Figura III. 8 – Carta Q (MR) da FB1.	67
Figura III. 9 – Carta CUSUMQ da FB1.	68
Figura III. 10 – Carta EWMAQ da FB1.....	69
Figura III. 11 – Gráfico do Consumo da FB2.	70
Figura III. 12 – Carta Q (X) da FB2.....	71
Figura III. 13 – Carta Q (MR) da FB2.	71
Figura III. 14 – Carta CUSUMQ da FB2.	74
Figura III. 15 – Carta EWMAQ da FB2.....	74
Figura III. 16 – Gráfico do Consumo da FB3.	75
Figura III. 17 – Carta Q (X) da FB3.....	76
Figura III. 18 – Carta Q (MR) da FB3.	76
Figura III. 19 – Carta CUSUMQ da FB3.	79
Figura III. 20 – Carta EWMAQ da FB3.....	79
Figura IV.1 – Plano Base do Projeto.....	81

Índice de Tabelas

Tabela 2. 1 – Síntese Esquemática da TOC	9
Tabela 3. 1 – Tipos de Cartas de Controlo.....	27
Tabela 3. 2 – Tipos de Cartas de Controlo para “Pequenas Produções”	28
Tabela 5. 1 – Dimensão das Reservas.....	46
Tabela 5. 2 – Limites de Controlo.....	48
Tabela 5. 3 – Dimensão e Consumo das Reservas.	53
Tabela III. 1 – Cartas Q da PB.	61
Tabela III. 2 – Carta CUSUMQ da PB.....	63
Tabela III. 3 – Carta EWMAQ da PB.	64
Tabela III. 4 – Cartas Q da FB1.	66
Tabela III. 5 – Carta CUSUMQ da FB1.....	68
Tabela III. 6 – Carta EWMAQ da FB1.	69
Tabela III. 7 – Cartas Q da FB2.	70
Tabela III. 8 – Carta CUSUMQ da FB2.....	72
Tabela III. 9 – Carta EWMAQ da FB2.	73
Tabela III. 10 – Cartas Q da FB3.	75
Tabela III. 11 – Carta CUSUMQ da FB3.....	77
Tabela III. 12 – Carta EWMAQ da FB3.	78

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO DO ESTUDO

Num mercado cada vez mais globalizado e altamente competitivo, o risco de incumprimento dos prazos e o aumento dos custos previstos, constituem duas das grandes preocupações da gestão de projetos.

Segundo Goldratt (1997), a origem do risco de derrapagem dos prazos dos projetos, entre as várias causas possíveis, poderá advir das limitações das técnicas clássicas de planeamento e controlo de projetos. Com vista à mitigação deste risco, e com a aplicação da Teoria das Restrições (*Theory of Constraints* - TOC) à Gestão de Projetos, surge a Gestão de Projetos pela Cadeia Crítica (*Critical Chain Project Management* – CCPM).

A CCPM é uma das mais controversas metodologias de gestão de projetos, pois introduz algumas mudanças estratégicas na forma como estes são tradicionalmente planeados, programados e geridos. O conceito básico desta metodologia consiste em retirar o tempo de segurança adicionado às estimativas das tarefas, as folgas, e acrescentar estrategicamente reservas temporais, de forma a proteger a duração do projeto em geral, e as respetivas cadeias em particular, de acontecimentos não programados. Na CCPM, no caso de existirem conflitos na utilização dos recursos chave, estes devem ser atribuídos às tarefas críticas.

Esta metodologia, de orientação prática, especificamente vocacionada para a gestão de tempo, tem como objetivo principal assegurar a conclusão dos projetos dentro dos prazos previstos, de forma a reduzir o risco de derrapagem dos mesmos. Atualmente, a CCPM é ainda considerada uma das técnicas mais eficazes na recuperação de derrapagens temporais em projetos (Tenera, 2012).

Uma das maiores inovações que surgiu com a CCPM é a forma como é gerida a execução dos projetos, sendo a Gestão de Reservas (*Buffer Management* – BM) o mecanismo formal de controlo da variabilidade da duração na execução dos mesmos.

Existem diferentes formas de controlar o consumo das reservas, no entanto, pretende-se, com a presente dissertação, criar e aplicar um modelo robusto para a BM, com recurso a ferramentas estatísticas. Este modelo tem como principal fator de diferenciação, da BM clássica, o controlo estatístico de reservas com recurso a cartas de controlo.

1.2. OBJETIVOS DA INVESTIGAÇÃO

Os objetivos específicos definidos para esta dissertação foram os seguintes:

- Analisar e sintetizar os pressupostos e procedimentos da gestão de tempo de projetos;

- Implementar as cartas de controlo na CCPM;
- Desenvolver um modelo de BM;
- Implementar o modelo proposto num caso real.

1.3. METODOLOGIA DO ESTUDO

A metodologia de investigação utilizada visa alcançar os objetivos propostos para o presente trabalho, pretendendo-se que todas as fases do estudo desenvolvido se encontrem interligadas. Os métodos utilizados nesta investigação foram a pesquisa pela ação (*action research*) e o caso de estudo. Estes métodos foram escolhidos por se pretender propor e testar um modelo ligado a CCPM em ambiente real. Na Figura 1. 1 está representada, de forma sistematizada, a metodologia adotada para o desenvolvimento do presente estudo e a respetiva localização na dissertação.

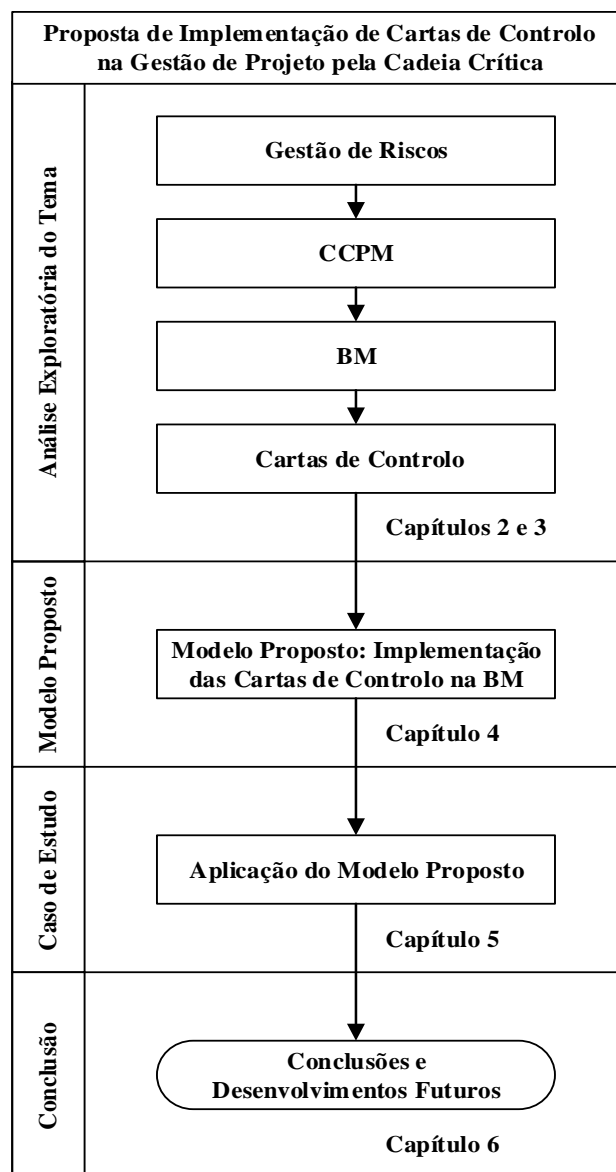


Figura 1. 1 - Metodologia do Estudo.

De forma a atingir os objetivos específicos apresentados, o trabalho realizado desenvolveu-se em várias etapas. O trabalho iniciou-se com uma revisão bibliográfica sobre os temas e conceitos associado à Gestão de Riscos, à CCPM, à BM e às Cartas de Controlo.

De acordo com o estudo realizado, foi proposto e desenvolvido um modelo que utiliza cartas de controlo no controlo estatístico das reservas. Este modelo, por sua vez, foi testado numa empreitada de reabilitação de edifícios, na Marinha Portuguesa, com o objetivo de se avaliar a aplicabilidade, as vantagens e as limitações da sua utilização.

Por fim, sintetizaram-se as conclusões e as recomendações para trabalhos futuros.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos.

O Capítulo 1, “Introdução”, compreende o enquadramento do estudo, no qual se procura apresentar o estudo e o trabalho realizado, os objetivos traçados e a estrutura geral da dissertação.

No Capítulo 2, “Análise de Riscos e Gestão de Projetos pela Cadeia Crítica”, expõem-se os conceitos teóricos associados à análise e gestão de riscos, bem como, sintetizam-se os fundamentos teóricos da CCPM em geral e em particular da BM.

Por sua vez no Capítulo 3, “Carta de Controlo: Pequenas Produções” apresentam-se os conceitos básicos e a metodologia geral de implementação das cartas de controlo, salientando-se o controlo de “pequenas produções” através das Cartas Q, Cartas CUSUMQ e Cartas EWMAQ.

No Capítulo 4, “Gestão das Reservas: Modelo Proposto” descreve-se o modelo proposto para BM, tendo este modelo como principal inovação, o controlo estatístico do consumo das reservas, com recurso às cartas de controlo.

Com o Capítulo 5, “Implementação do Modelo Proposto: Caso de estudo” pretende-se aplicar o modelo proposto, com o objetivo de aferir a sua aplicabilidade num caso concreto e avaliar as suas potencialidades e limitações.

No Capítulo 6, “Conclusões e Recomendações”, sintetizam-se as principais conclusões da dissertação e apresentam-se ainda as principais recomendações para trabalhos futuros.

2. Análise de Riscos e Gestão de Projetos pela Cadeia Crítica

2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O presente capítulo destina-se a evidenciar os fundamentos teóricos da análise e gestão de riscos em geral, e em particular da gestão de riscos de derrapagem dos prazos dos projetos, salientando-se os pressupostos e procedimentos da Gestão de Projetos pela Cadeia Crítica (*Critical Chain Project Management* – CCPM), com vista à sua implementação em projetos de construção civil, inseridas no ramo militar naval.

2.2. GESTÃO DE RISCOS

Conceito de Riscos e Incerteza

Inúmeras vezes, o conceito risco é confundido com o conceito de incerteza. Apesar da relação inerente entre os dois conceitos, estes podem ser separados e definidos individualmente.

Incerteza diz respeito às situações em que, devido à inexistência ou deficiência de dados que suportam determinados acontecimentos, não é possível atribuir uma determinada probabilidade de ocorrência, diferenciando-a do conceito de riscos, como sendo um conjunto de acontecimentos para os quais se pode estabelecer uma probabilidade (Roxo, 2012).

Matematicamente, o risco pode ser expresso em termos da probabilidade de ocorrência combinada com as consequências de um acontecimento, isto é, $\text{Risco} = \text{Probabilidade} \times \text{Consequências}$ (ISO, 2009). Assim sendo, não devem ser considerados como riscos, acontecimentos cuja probabilidade de ocorrência ou o impacto sejam nulos.

O *Project Management Institute* (PMI) define risco como acontecimento ou condição incerta que, se ocorrer, provocará um efeito positivo ou negativo sobre pelo menos um dos objetivos do projeto, como o âmbito, o tempo, o custo ou a qualidade (PMI, 2012).

Assim, os riscos podem ter impactos positivos ou negativos, isto é, podem ser encarados como oportunidades ou como ameaças, pelo que face à primeira situação, estes devem ser potenciados, enquanto face às ameaças, o risco deverá ser atenuado.

Conceito de Gestão de Riscos

Num mercado cada vez mais globalizado e altamente competitivo é cada vez mais frequente a exigência e a necessidade de sistemas formais de gestão de riscos, nos quais se exige a identificação e caracterização de fatores de riscos, bem como a análise dos seus potenciais impactos.

A gestão de riscos é um elemento central na gestão estratégica de qualquer projeto, programa ou portfólio, devendo ser um processo contínuo através do qual se analisam metodicamente os riscos inerentes às respectivas atividades.

O risco nos projetos tem origem na incerteza existente em cada um destes, sendo que o objetivo principal da gestão de riscos não é remover todos os riscos, mas sim reduzir a incerteza, procurando lidar e compreender a sua influência.

2.2.1. FASES DA GESTÃO DE RISCOS

O aparecimento de metodologias estruturadas, nomeadamente as sugeridas pelo PMI (2012) e pela ISO 31000 (ISO, 2009), originou um avanço significativo na gestão de riscos de forma sistemática e estruturada (Fortunato, 2013).

Diversas organizações têm vindo a desenvolver modelos com estruturas próprias, constituídos pelas fases que consideram mais importantes, não existindo assim uma estrutura rígida e padronizada de gestão de riscos transversal a todas as entidades. No entanto, existem três fases que se consideram cruciais, estas são: Identificação de riscos; Análise e avaliação de riscos; e Tratamento de riscos (Silva, 2012). Na Figura 2. 1 estão representadas as fases cruciais do processo de gestão de riscos.



Figura 2. 1 – Principais Fases do Processo de Gestão de Riscos.

Identificação de Riscos

A identificação de riscos diz respeito ao processo através do qual se geram listas organizadas e estruturadas de riscos identificados, das suas características, causas e consequências, para que estas listas possam ser utilizadas nas fases seguintes da gestão de riscos, ou mesmo noutros projetos, programas e portfólios.

Existem várias ferramentas e técnicas que tornam mais fácil e eficaz a identificação de riscos, sendo as mais referenciadas, *Checklists*, *Brainstorming*, entrevistas estruturadas, Técnica *Delphi*, análise SWOT (*Strengths, Weakness, Opportunities and Threats*) e Diagramas de Causa e Efeito.

Análise e Avaliação de Riscos

Depois de identificados os riscos, segue-se a etapa de avaliação dos mesmos. A avaliação visa perceber a natureza dos riscos e quantificá-los, de forma a obter o grau de importância de cada um. O nível de risco é geralmente determinado através da combinação da probabilidade de ocorrência e das consequências que possam surgir, sendo estas consequências, entre outras, de natureza pessoal, material ou financeira.

A avaliação de riscos pode ser efetuada segundo diferentes níveis de detalhe, dependendo do tipo de riscos, do objetivo da avaliação e da informação disponível. Os tipos de avaliação mais recorrentes são: a avaliação qualitativa e a avaliação quantitativa. No entanto, em algumas áreas, é usual utilizar uma metodologia conjunta destas abordagens. Essa metodologia é denominada de análise semiquantitativa (Fortunato, 2013).

A análise qualitativa de riscos tem como principal objetivo priorizar os riscos identificados. Esta análise é, regra geral, uma forma rápida e económica de estabelecer prioridades para os planos de resposta aos riscos. Este processo deve ser iterativo, durante o ciclo de vida do projeto, de forma a acompanhar as mudanças dos riscos dos projetos (PMI, 2012).

Por sua vez, a análise quantitativa, é o processo de analisar numericamente o efeito dos riscos referenciados na análise qualitativa. Para avaliar os riscos, podem assim ser utilizadas diversas técnicas como, por exemplo: Árvore de Eventos, Árvore de Falhas, Análise de Modos de Falhas e Efeitos, Diagrama de Causa e Efeito e Simulação de Monte Carlo (Silva, 2012).

A análise semiquantitativa é uma abordagem intermedia entre a análise qualitativa e a quantitativa, quer em termos de informação produzida quer em termos de complexidade. Nesta análise, são atribuídos valores numéricos às escalas qualitativas, com o objetivo de produzir escalas mais alargadas, mas sem atribuir valores realísticos aos níveis do risco (Silva, 2012).

Tratamento de Riscos

Após a identificação, análise e avaliação, segue-se então o tratamento de riscos. O objetivo principal desta fase, e sendo necessária, consiste em atribuir medidas, que alterem para níveis admissíveis os níveis de riscos, e avaliar a eficiência dessas medidas.

De acordo com a ISO 31000 (ISO, 2009) e de forma resumida, o tratamento de riscos pode ser

definido através do seguinte processo:

- Escolher medidas de tratamento de riscos;
- Decidir até que ponto é que o nível de risco residual é tolerável;
- Se o nível de risco não for tolerável, adotar novas medida de tratamento;
- Avaliar a eficácia do tratamento de riscos.

Nesta fase, é fundamental perceber que os riscos tratados poderão acrescentar novos riscos, sendo que estes últimos também devem ser identificados, avaliados e se necessários tratados (Silva, 2012).

Existem diversas opções para o tratamento de riscos, sendo que as escolhas mais adequadas envolvem o estabelecimento de um equilíbrio entre os custos associados à aplicação de medidas e o benefício retirado das medidas implementadas (Silva, 2012).

2.2.2. GESTÃO DE RISCOS DE DERRAPAGEM DE PRAZOS NOS PROJETOS

O risco de derrapagem dos custos orçamentados e o incumprimento dos prazos constituem duas das grandes preocupações da gestão de projetos, a par com outros riscos, nomeadamente, os riscos operacionais e os riscos relacionados com a segurança e fiabilidade dos sistemas tecnológicos (Tenera, 2012).

No presente trabalho utilizar-se-á para a gestão de riscos de derrapagem de prazos o modelo da CCPM. Este modelo tem os seus princípios fundamentais vocacionados para a gestão do tempo em projetos, tendo como principal objetivo a conclusão dos projetos dentro dos prazos estabelecidos (Tenera, 2012).

2.3. GESTÃO DE PROJETO PELA CADEIA CRÍTICA

2.3.1. INTRODUÇÃO À TEORIA DAS RESTRIÇÕES

Em 1984, o físico Eliyahu Goldratt lançou o livro “*The Goal*”, apresentando a Teoria das Restrições (*Theory of Constraints* - TOC). A TOC introduziu novas perspetivas na gestão dos sistemas produtivos, inicialmente na produção fabril, e mais tarde alargadas a outras áreas, como à gestão de projetos e ao planeamento estratégico (Tenera, 2006).

A TOC pode ser sintetizada através de quatro componente fundamentais: Estratégica; Operacional; Prescritiva; e Refletiva, tal como se apresenta na Tabela 2. 1. Na componente estratégica podem ser identificados os principais princípios e prescrições básicas da TOC e as suas ferramentas lógicas de análise e resolução de problemas e conflitos. Por sua vez a componente operacional pode ser dividida nas aplicações lógicas específicas e nas medidas de avaliação de desempenho.

Tabela 2. 1 – Síntese Esquemática da TOC [Fonte: Tenera (2006, p. 90)].

	Componente Prescritiva	Componente Reflexiva
Componente Estratégica	Conceitos e Princípios	Análise e Resolução de Problemas
	<p>Princípios Conceptuais</p> <p>Prescrições:</p> <p>As Três Questões Básicas</p> <p>Os Cinco Passos Fundamentais</p> <p>Os Seis Níveis da Resistência</p>	<p>Ferramentas Lógicas:</p> <p>Árvore da Realidade Atual</p> <p>Diagrama de Resolução de Conflitos</p> <p>Árvore da Realidade Futura</p> <p>Árvore de Pré-Requisitos</p> <p>Árvore de Transição</p> <p>Princípios de Validação:</p> <p>Categorias de Reserva Legítimas</p>
Componente Operacional	Aplicações Lógicas Específicas	Medidas de Avaliação de Desempenho
	<p>Tambor-Reserva-Corda</p> <p>Cadeia Crítica (CC)</p> <p>Gestão das Reservas (BM)</p>	<p>Receitas</p> <p>Investimento</p> <p>Despesas Operacionais</p>

Goldratt (1997) enfatiza que a TOC é uma filosofia de gestão que visa atingir a melhoria contínua nas organizações e tem como principal objetivo maximizar os resultados das mesmas (Quintaneiro, 2014). Assim, defende que as organizações ou sistemas não devem ser encaradas como a soma isoladas das partes, mas sim como um sistema integrado, onde existem ligações entre as partes, pelo que à semelhança da máxima popular, uma corrente é tão forte como o seu elo mais fraco.

Assim, a TOC estabelece que para melhorar o desempenho de um sistema, é crucial identificar a sua principal restrição, para se poder atuar sobre esta, de modo a otimizar todo o sistema (Estrela, 2008).

2.3.2. SÍNTESE DO MÉTODO DA CADEIA CRÍTICA

Goldratt, em 1997, alertou que as limitações das técnicas clássicas de planeamento e controlo poderiam estar na origem do não cumprimento dos prazos dos projetos. Assim, e com a aplicação da Teoria das Restrições (Theory of Constraints - TOC) à gestão de projetos, propôs um das mais controversas metodologias, a Gestão de Projetos pela Cadeia Crítica (*Critical Chain Project Management – CCPM*).

Segundo a versão portuguesa do PMBOK *Guide* (PMI, 2013), o método da Cadeia Crítica ou Corrente Crítica é um método de planeamento que permite que a equipa de projeto introduza reservas (*buffers*) no cronograma, considerando a existência de recursos limitados e durações de atividades variáveis, procurando uma melhoria no desempenho dos projetos. Esta melhoria passa, prioritariamente, por gerir de uma forma eficaz e eficiente o seu tempo de execução, de forma a concluir os projetos dentro dos prazos estabelecidos, reduzindo assim o risco de derrapagem dos mesmos.

Nas metodologias tradicionais são adicionados tempos de segurança às durações das atividades, para prevenir contra contingências, contudo no decorrer dos projetos, estes tempos de segurança tendem a ser consumidos, devido ao foco principal ser na realização de cada tarefa e não na conclusão do projeto. A Síndrome do Estudante e a Lei de Parkinson são dois exemplos dos comportamentos negativos encorajados pelas abordagens tradicionais e contrariados pela CCPM (Courinha, 2010).

A Lei de Parkinson

A “Lei de Parkinson” defende que o desenvolvimento de qualquer atividade tende a prolongar-se de forma a utilizar todo o tempo disponível (Parkinson, 1958). Por exemplo, se uma tarefa tem a duração programada de 10 dias, em regra não demora menos, pois, as pessoas e as organizações tendem a ajustar o nível de esforço à duração programada (Courinha, 2010).

Com vista a minimização dos efeitos da Lei de Parkinson, a CCPM propõe que as durações programadas sejam mais reduzidas e que sejam introduzidas estrategicamente reservas temporais.

A Síndrome do Estudante

Segundo Leach (2005), a maioria das pessoas tende a iniciar as tarefas o mais tarde possível, tal como fazem os estudantes, estudando só à última da hora. Segundo o mesmo autor, uma elevada percentagem de pessoas efetua menos de um terço dos trabalhos durante os dois primeiros terços da duração das atividades.

Lei de Murphy

A Lei de Murphy é uma lei muito pessimista, que alerta para a elevada probabilidade da ocorrência, nos piores momentos, de acontecimentos imprevisíveis e indesejados, “*Anything that can go wrong will go wrong at the worst possible moment*” (Kirilenko & Lo, 2013).

Assim, a Lei de Murphy associada a Lei de Parkinson e à síndrome do estudante, aumentará então a probabilidade de ocorrência de atrasos, comparativamente com a probabilidade de ocorrência de antecipações (Tenera, 2006).

2.3.2.1. Estimativa da Duração das Atividades

Um dos fatores de diferenciação entre a gestão tradicional e a CCPM é a forma como a duração das atividades é determinada. Este método considera que a duração das atividades é determinada de forma probabilística, tendendo a calendarizar durações alvo para as atividades, eliminando as datas pré-definidas de arranque das mesmas, e alocando as previsões das variações esperadas nas reservas a criar para o efeito (Tenera, 2008).

As técnicas tradicionais de planeamento de projetos induzem à utilização de estimativas conservadoras de forma a garantir o cumprimento dos prazos estabelecidos, por sua vez, na CCPM, as estimativas das durações das atividades apresentam uma função de probabilidade, tal como ilustrado na Figura 2. 2.

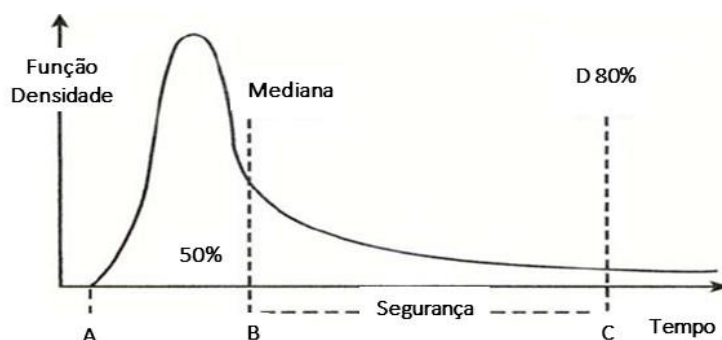


Figura 2. 2 – Distribuição Típica da Duração de uma Atividade na CCPM
[Fonte: Tenera (2006, p. 101) Adaptado de: Goldratt (1997)].

Como apresentado na Figura 2. 2, a probabilidade de concluir a atividade vai aumentando à medida que o tempo vai decorrendo até à função atingir o seu pico máximo, que corresponde à duração mais provável, isto é, a que ocorre com mais frequência.

A CCPM defende que no caso de se optar por estimativas de baixo risco, com níveis de confiança superiores a 80 por cento, estas poderão apresentar valores maiores de cerca de duas a três vezes, relativamente às estimativas com níveis de confiança de 50% (Tenera, 2006).

2.3.2.2. Construção da Rede e Identificação da Cadeia Crítica

A construção das redes dos projetos na CCPM deverá ser dividida em duas fases, uma primeira fase de criação e uma segunda de verificação. Ao contrário das práticas tradicionais, é sugerido que, a primeira fase deste processo siga uma ordem inversa, ou seja, a construção da rede deverá ser efetuada da atividade final para as atividades iniciais. Por sua vez na segunda fase, a rede obtida deverá ser verificada e eventualmente reformulada, numa lógica direta, isto é, das atividades iniciais para a atividade final. Segundo a CCPM, as redes deverão ter apenas uma atividade final, podendo apresentar mais do que uma atividade inicial (Tenera, 2006).

A cadeia crítica (CC) é um dos principais conceitos da CCPM e pode ser definida como sendo a sequência mais longa de atividades num projeto, que considera tanto a sequência tecnológica como as relações de dependência criadas pela limitação e partilha de recursos entre as atividades. Estas relações devem ser consideradas logo na fase inicial do planeamento, o que poderá condicionar a identificação e seleção das atividades críticas. À semelhança das metodologias clássicas, na CCPM, também é sobre as atividades pertencentes à CC que a gestão de projetos deve concentrar os seus esforços.

Na Figura 2. 3 encontra-se sintetizada uma lógica processual possível para a programação da CC, onde é possível verificar os principais processos, nomeadamente, a identificação das sequências mais longas, o dimensionamento e inserção das reservas, e a resolução dos conflitos. Nas secções seguintes serão desenvolvidos os respetivos processos de construção da rede de projetos.

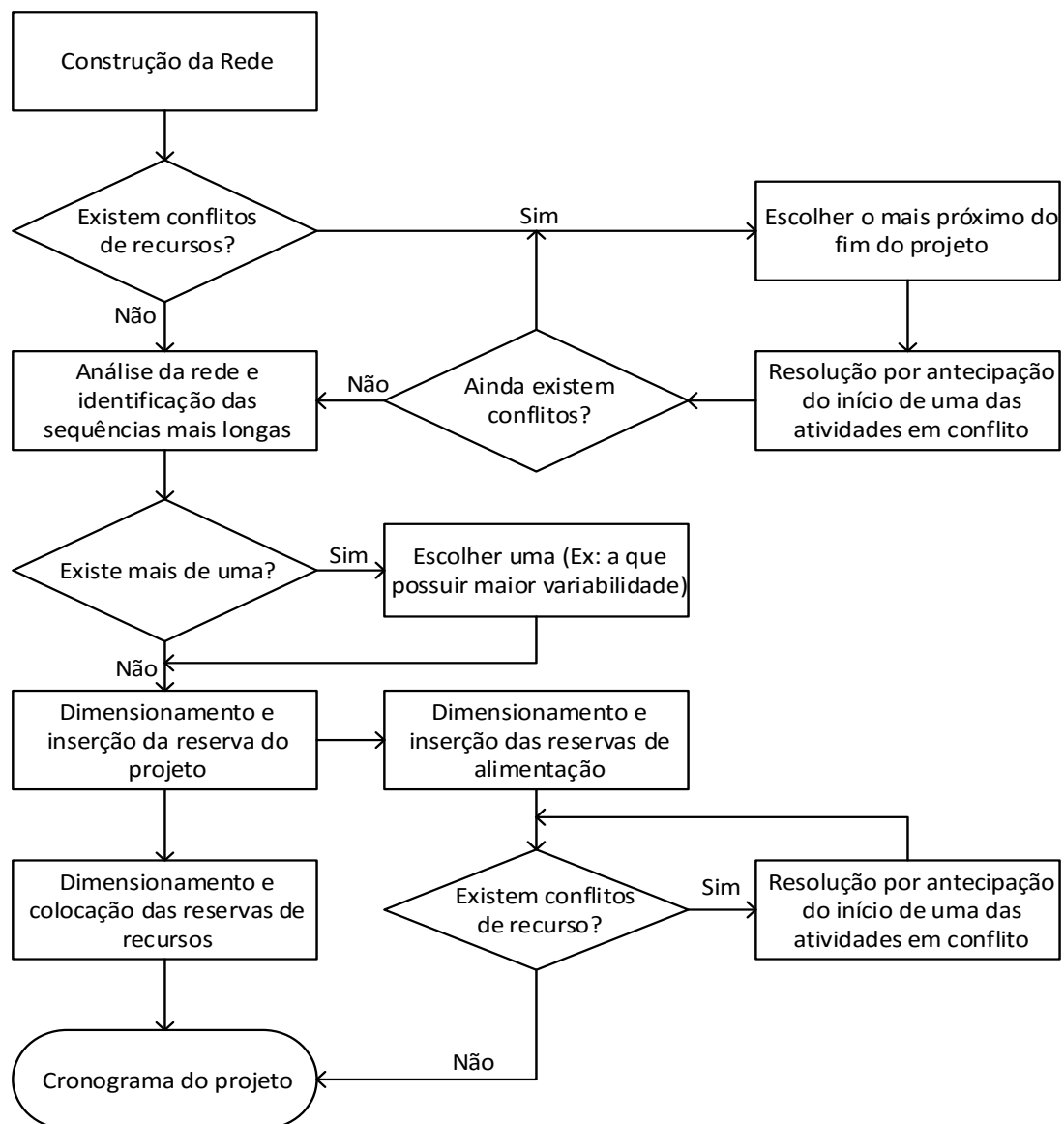


Figura 2. 3 – Lógica Processual da Programação da CC [Fonte: Tenera (2006, p. 103)].

2.3.2.3. Caracterização e Inserção das Reservas

A CC tende a calendarizar durações alvo para as atividades, agregando estrategicamente as reservas temporais criadas para protegerem os projetos de interações não planeadas ou acontecimentos não programados. Apesar das reservas temporais serem por vezes comparadas a folgas, por se referirem ao período temporal que as atividades podem sofrer atrasos sem implicar o incumprimento dos prazos estabelecidos, na realidade o conceito de reserva é distinto do conceito de folga, uma vez que (Tenera, 2006):

- As reservas são criadas para serem utilizadas e geridas ao longo do desenvolvimento dos projetos, face às atividades que protegem e aos objetivos dos projetos. Por sua vez as folgas, podem ou não ser utilizadas;
- As reservas são criadas de acordo com a variabilidade agregada assumida nas atividades que lhe dão origem, enquanto as folgas são calculadas por atividade.

Em projetos individuais calendarizados pela CCPM é necessário dimensionar a Reserva do Projeto (*Project Buffer* - PB) e as Reservas de Alimentação (*Feeding Buffers* – FB's), podendo ainda ser inseridas Reservas de Recursos (*Resource Buffers* – RB's).

A PB é colocada após a atividade final dos projetos, com o objetivo de proteger as datas de conclusão dos mesmos, pretendendo atuar assim como amortecedor da CC, contra alterações ocorridas nas suas atividades. A PB serve ainda, como registo objetivo e visual das alterações provocadas no desenvolvimento das atividades, sendo um instrumento fundamental para um controlo do desempenho dos projetos (Tenera, 2006).

Por sua vez, as FB's são colocadas nos finais das cadeias não críticas onde estas intersejam a CC. Estas reservas têm como objetivo proteger a CC da variabilidade das atividades não críticas, isto é, atividades que não pertencem à CC. A Figura 2. 4 apresenta um exemplo de colocação de PB e FB's, na cadeia crítica e nas cadeias não críticas respetivamente.

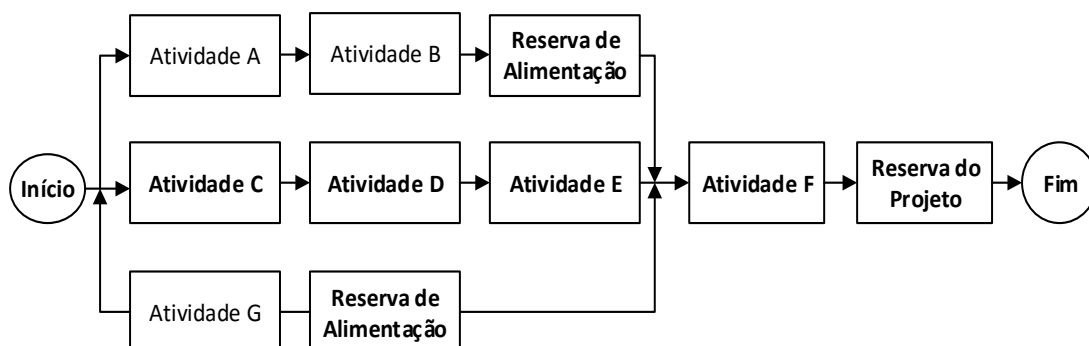


Figura 2. 4 – Exemplo de Localização da PB e das FB's.

As reservas de recursos (RB's) consistem num mecanismo de alerta antecipado, aos recursos pertencentes à CC, de forma a garantir a sua prontidão na altura em que são necessários na CC.

2.3.2.4. Calendarização do Projeto

O método da CC calendariza atividades com durações que não devem incluir margens de segurança individuais significativas, inserindo em contrapartida estrategicamente reservas temporais agregadas, tal como exposto na Figura 2. 4 (Ver seção anterior 2.3.2.3).

Ao contrário das metodologias clássicas em que a calendarização é efetuada para que as atividades se iniciem o mais cedo possível, ASAP (*As-Soon-As-Possible*), na pretensão de com isso, as atividades comecem e terminem nos prazos previamente estimados, na CC o cronograma inicial é definido numa lógica ALAP (*As-Late-As-Possible*), ou seja, tão tarde quanto possível, e as atividades iniciam-se tão cedo quanto necessário, ASAN (*As-Soon-As-Needed*). Assim, uma atividade será iniciada apenas quando as predecessoras terminarem e é concluída logo que possível (Tenera, 2008).

Admitindo-se a existência de reservas temporais pré definidas, tal como sintetizado na Figura 2. 5, poderão ocorrer quebras na CC.

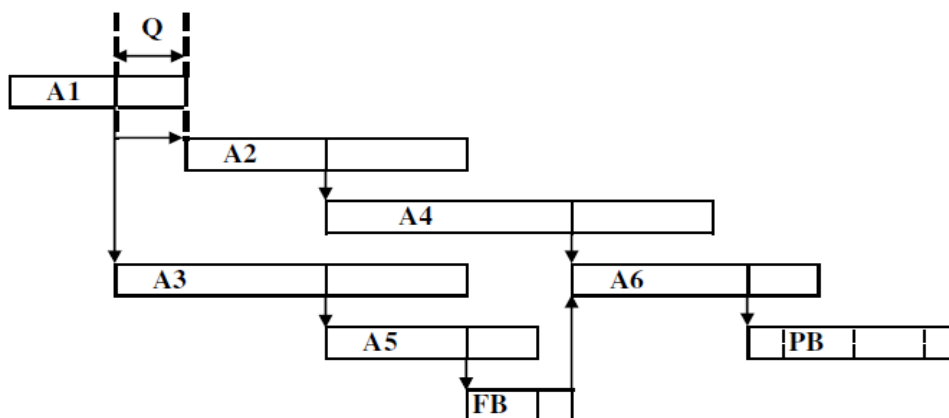


Figura 2. 5 – Quebra na CC [Fonte: Tenera (2006, p. 109)].

Na Figura 2. 5, por simplicidade, estão representados dois caminhos, em vez de duas cadeias, por não se considerar os recursos afetos às atividades. A atividade A1, A2, A4 e A6, pertencem ao caminho crítico, por sua vez a atividade A3 e A5 pertencem ao caminho não crítico. No final do caminho crítico está inserida uma PB e no caminho não crítico está colocada uma FB. Dada a dimensão deste FB, o início da atividade crítica A1 poderá ter que ser antecipado de Q unidades. Se não for possível, o início de A2 e das restantes atividades, terá que ser adiado Q unidades de tempo. Nas duas situações existem assim, uma quebra no caminho crítico de Q unidades de tempo.

No caso da ocorrência de quebras na CC, tem então que se optar por uma das seguintes alternativas (Tenera, 2006):

- Aceitar o risco de impacto na CC, mantendo as FB's dimensionadas à variabilidade possível, dentro do horizonte temporal imposto pela CC e a PB dimensionada considerando apenas a variabilidade admitida na CC;

- O mesmo que a alternativa anterior, mas adicionando à PB a variabilidade restante, reduzindo o risco de impacto, mas aumentando em consequência a duração do projeto;
- Aceitar a quebra na execução da CC, podendo manter ou reduzir a dimensão da PB, uma vez que parte dos atrasos podem vir a ser compensados nas quebras programadas.

Atendendo aos princípios da metodologia da CCPM e a definição da CC, a primeira e a segunda opção serão preferenciais, uma vez permitem a programação da CC sem quebras adicionais, deixando à gestão a seleção do nível de risco que pretendem admitir nos projetos.

2.3.2.5. Controlo e Avaliação do Projeto

Um dos fatores de diferenciação da CCPM é a forma como é gerido o cronograma e a execução dos projetos. O controlo dos consumos das reservas permite à gestão acompanhar a evolução dos projetos e determinar se a duração programada é ou não alcançável dentro do nível de risco admitido.

A CCPM ao considerar logo na fase inicial a disponibilidade e limitação de recursos, permite um maior ajustamento dos modelos à realidade que pretendem representar.

2.3.3. GESTÃO E DIMENSIONAMENTO DE RESERVAS TEMPORAIS

Uma das maiores contribuições que surgiu com a CCPM é o método de monitorização dos projetos, tendo este método como principal mecanismo de controlo, a gestão de reservas (*Buffer Management* - BM). Assim, a BM é o mecanismo formal de controlo da variabilidade das durações dos projetos e da gestão do seu impacto na incerteza programada dos projetos (Courinha, 2010).

2.3.3.1. Dimensionamento das Reservas

Num mercado altamente competitivo, o dimensionamento das reservas é um processo extremamente importante. Por um lado, reservas demasiado elevadas adicionam custos e tornam os projetos menos competitivos. Por outro lado, reservas demasiado reduzidas podem resultar em atrasos nas entregas dos projetos e daí resultarem por exemplo sanções financeiras (Schwindt, 2015).

A reserva de projeto e as reservas de alimentação devem ser dimensionadas de modo a protegerem os projetos de uma forma eficaz e eficiente, sendo a melhor solução aquela que satisfaz simultaneamente, por ordem decrescente de importância, as seguintes premissas (Courinha, 2010):

- O valor dimensionado não é ultrapassado no final do projeto;
- A percentagem do consumo da reserva temporal no final do projeto é superior a 60%.

Existem mais algumas orientações que devem ser tidas em conta no dimensionamento das reservas, nomeadamente (Leach, 2005):

- Procurar que a cadeia crítica tenha no mínimo dez atividades. Tendencialmente, quantas mais atividades compuserem a CC, mais eficaz é o Teorema do Limite Central (TLC);
- Não permitir que nenhuma atividades assuma preponderância na CC com duração superior a 20% da totalidade da CC, pois a incerteza inerente a esta atividades irá dominar a cadeia;
- Não permitir que a reserva de projeto seja inferior a 25% da duração total da CC.

Atualmente existem vários métodos de dimensionamento de reservas. Nas secções seguintes serão apresentadas as metodologias mais comuns.

Método 50 – 50% (M50)

O método 50 – 50% (M50) proposto por Goldratt (1997) foi o primeiro método proposto para o dimensionamento das reservas temporais. Este método consiste em retirar 50% das durações estimadas para cada atividade, com um nível de confiança de pelo menos 80%, e colocar uma PB com metade da duração da CC no final da mesma. Nas cadeias não críticas, são colocadas FB's, com metade da duração das atividades pertencentes às mesmas.

A reserva do projeto é dada pela equação:

$$PB = \frac{\sum_{i=1}^n 0.5d_{C_i}}{2}, \quad i \in CC \quad (2.1)$$

Em que:

- d_{C_i} = Duração das atividades críticas.

Este método tem a vantagem de ser um método simples, no entanto, tem a desvantagem de não permitir contabilizar explicitamente as variações de causa comum, e dimensionar reservas temporais demasiado elevadas (Tenera, 2006).

Método da Raiz Quadrada do Erro (RQE)

O método dos dois desvios padrão proposto por Newbold (1998) assume distribuições lognormais, para a probabilidade de completar uma atividade, e considera válidas todas as premissas necessárias para a verificação do Teorema do Limite Central.

A reserva do projeto é dada pela equação:

$$PB = 2 \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\frac{d_{C_i} - \hat{\mu}_i}{2} \right]^2}, \quad i \in CC \quad (2.2)$$

Em que:

- d_{C_i} = Duração das atividades;

- $\hat{\mu}_i$ = Estimativa da média da duração das atividades.

Este método é preferível para quem pretende obter uma abordagem mais científica, com maior rigor do ponto de vista matemático, e permite contabilizar explicitamente as variações de causas comuns. Tem a desvantagem de quando utilizado em cadeias longas poder levar ao subdimensionamento das reservas e embora mais rigoroso, com base em experiências anteriores, não tem demonstrado ser mais eficaz que o método M50 (Courinha, 2010).

Método da Raiz Quadrada da Soma dos Quadrados dos Desvios (SQR)

O método proposto por Leach (2005) combina os dois métodos anteriores, usando uma quantidade fixa da reserva obtida, por exemplo, pelo método M50, de maneira a contabilizar as variações ao longo das cadeias, agregando-o com o método RQE para prevenir variações de causas comuns.

A reserva do projeto é dada pela equação:

$$PB = \sqrt{\sum_{i=1}^n (U_i - L_i)^2}, \quad i \in CC \quad (2.3)$$

Em que:

- U_i = Limite superior da duração da atividade;
- L_i = Limite inferior da duração da atividade.

MSC - Monte Carlo + Folga Livre

Hoel e Taylor (1999) utilizando a simulação de Monte Carlo, sugerem apenas o dimensionamento da reserva de projeto, sem considerar as reservas de alimentação, considerando que esta, é obtida pela diferença entre a duração do percentil simulado e a média simulada para o projeto. Assim, a reserva do projeto é dada pela equação:

$$PB = D\% - D \quad (2.4)$$

Em que:

- D = Duração média simulada para o projeto (em regime ASAP);
- $D\%$ = Percentil %, da duração simulada para o projeto (em regime ASAP).

SMC – Simulação Melhorada da Calendarização

O método de Simulação Melhorada da Calendarização (SMC), proposto por Tenera (2006), integra a lógica CCPM, na simulação de Monte Carlo e procedimentos específicos, suscetíveis de serem integradas em aplicações informáticas de uso corrente.

A PB e as FB's são dadas pela equação:

$$D\% - D' \quad (2.5)$$

Em que:

- D' = Estimativa determinística da duração do projeto ou finais de cadeias não críticas (em regime ALAP);
- $D\%$ = Percentil %, da duração simulada para o projeto ou finais de cadeias não críticas (em regime ALAP).

O dimensionamento das reservas temporais pela SMC tem a vantagem de permitir caraterizar e dimensionar objetivamente as reservas, considerando todas as atividades e interligações das redes representativas dos projetos, e utilizar a simulação de Monte Carlo, ferramenta conceptual simples, relativamente flexível e disponível para utilização empresarial (Tenera, 2006).

Análise Comparativa dos Métodos de Dimensionamento das Reservas

Os métodos M50, da RQE e o SQR têm a vantagem de serem analiticamente mais simples que o SMC, mas a desvantagem de dimensionarem as reservas de acordo com o número de atividades da CC e não terem em atenção as assimetrias das estimativas das durações das atividades, o que pode resultar, em reservas demasiadas conservadoras e consequentemente originar perda de competitividade dos projetos (Tenera, 2012).

Segundo Tenera (2008), e da análise da Figura 2. 6 e Figura 2. 7, verifica-se que, para projetos com diferentes números de atividades, as dimensões calculadas pelo método SMC são geralmente menores para a PB (Figura 2. 6) e para as FB's (Figura 2. 7).

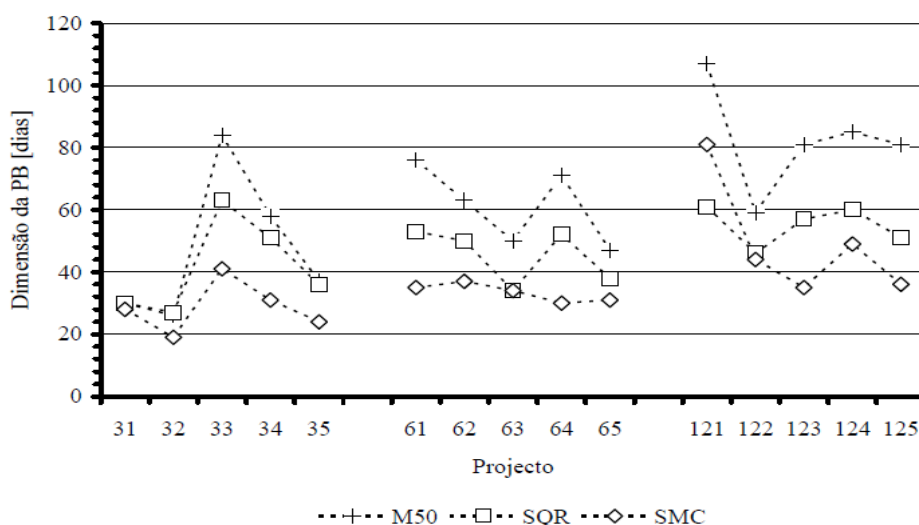


Figura 2. 6 – Dimensão da PB [Fonte: Tenera (2008, p. 158)].

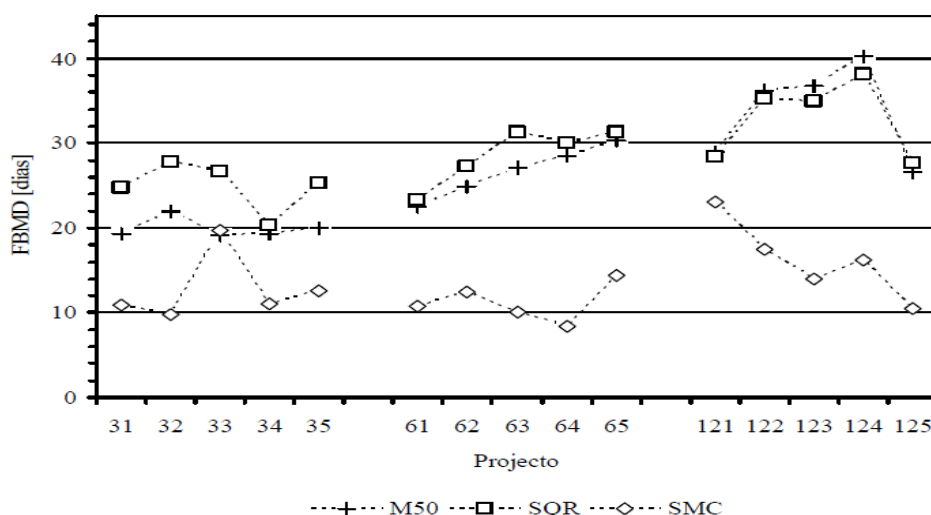


Figura 2.7 – Dimensão Média das FB's [Fonte: Tenera (2008, p. 158)].

Da análise da Figura 2.8 verifica-se que a razão entre a duração efetiva do projeto para o percentil de 95% (95DR) e a duração programada do projeto (DR) é menor que um, o que significa que as durações dos projetos não são ultrapassadas. Verifica-se ainda, que os valores obtidos pelo SMC são mais próximos da unidade, indicando que as durações simuladas serão mais próximas das durações programadas.

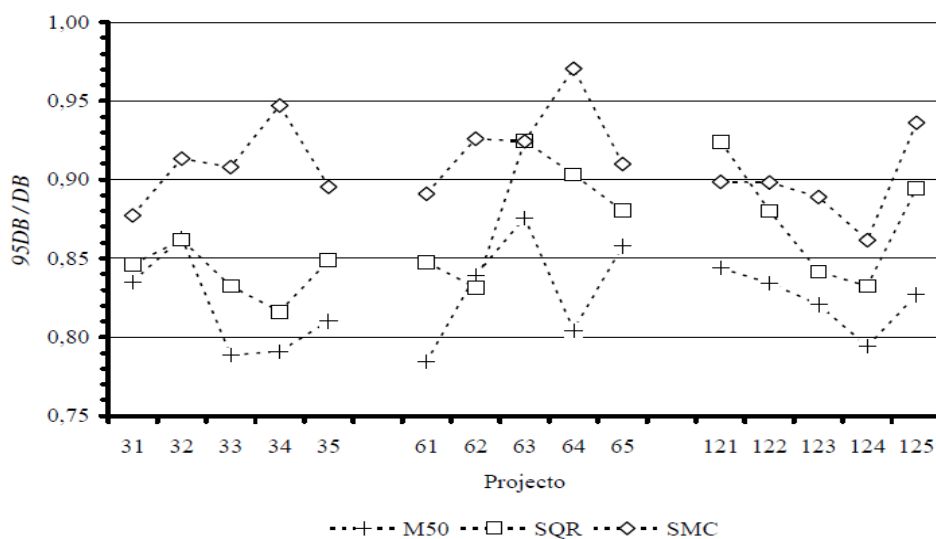


Figura 2.8 – Rácio Duração Simulada vs Programada [Fonte: Tenera (2006, p. 158)].

A utilização do SMC permite ainda ter em atenção, no dimensionamento das FB's, os efeitos que os pontos de convergência intermédios, nas cadeias não críticas, podem provocar, no caso de estas cadeias serem constituídas por mais que uma sequência de atividades (Tenera 2012).

2.3.3.2. Gestão de Consumos

Na CCPM as reservas temporais constituem o único mecanismo formal de controlo da variabilidade da duração do projeto. Estas reservas são controladas e geridas, não só para detetar e gerir atrasos, bem como para aproveitar possíveis antecipações não programadas (Tenera, 2006).

Existem diferentes formas para controlar o consumo das reservas, nomeadamente, o gráfico do consumo das reservas em função do tempo, a relação entre o tempo consumido em função da percentagem da CC executada, análise da reserva necessária para o trabalho remanescente e o cálculo de indicadores, como por exemplo, a duração estimada da CC e a previsão da utilização das reservas (Estrela 2008).

O método primordial da BM consiste em representar graficamente o consumo das reservas em função do tempo, em três zonas distintas, à semelhança dos sinais de trânsito: a verde (OK); a amarela (Observar e Planear); e a vermelha (Atuar) (Figura 2. 9 (a)). Este método apresentou algumas limitações, nomeadamente o facto de não permitir ao gestor do projeto ter uma sensibilidade do desempenho dos projetos, nem aferir tendências. Surgiram assim algumas modificações, exemplificadas na Figura 2. 9 (c).

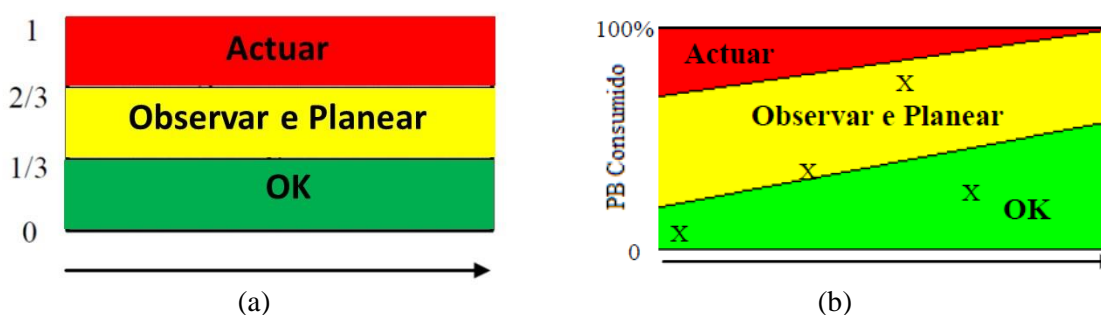


Figura 2. 9 – Gestão de Reservas [Fonte: Tenera (2006, p. 112)].

Na Figura 2. 9 (b), e a semelhança da Figura 2. 9 (a), na zona verde (OK), considera-se que o consumo da reserva, X, está dentro do previsto, isto é, não existe necessidade de qualquer alarme. Neste método, a zona verde vai aumentando, por se considerar que a PB vai sendo consumida ao longo do projeto (Tenera, 2006).

Na zona amarela (Observar e Planear), zona de prevenção, devem ser desenvolvidos planos de contingência, para o caso dos consumos das reservas continuarem acima da utilização espectável, estes planos serem colocados em prática.

Por fim, quando o consumo da reserva se encontra na zona vermelha (Atuar), é necessário colocar em prática os planos de contingência, com vista à redução dos consumos das reservas ou à recalendarização do projeto. Esta área é menor à medida que ocorre o desenvolvimento dos projetos.

No capítulo seguinte introduzir-se-ão as cartas de controlo, com principal destaque para as cartas de controlo de pequenas produções, cartas estas que com o modelo proposto, serão implementadas na BM.

3. Cartas de Controle: Pequenas Produções

3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No presente capítulo apresentam-se os conceitos básicos e a metodologia geral de implementação das cartas de controle, dando-se ênfase ao controle das “pequenas produções” através das Cartas Q, Cartas CUSUMQ e Cartas EWMAQ.

3.2. CARTAS DE CONTROLO TRADICIONAIS

Introdução às Cartas de Controle Tradicionais

As cartas de controle são ferramentas tradicionalmente utilizadas no controle estatístico dos processos (*Statistical Process Control* – SPC). Estas ferramentas permitem monitorizar o comportamento dos processos e fornecem informações relevantes acerca da necessidade de desencadear ações corretivas nos mesmos (Pereira & Requeijo, 2012).

As primeiras cartas de controle surgiram nos anos 20 do século XX e foram desenvolvidas pelo Dr. Walter Shewhart, enquanto procedia ao estudo da variação de um determinado processo (Agostinho, 2011).

Para gerir adequadamente um processo é fundamental identificar as causas de variação, o que implica a existência de uma distinção clara entre causas comuns e causas especiais de variação (Pereira & Requeijo, 2012):

- As causas comuns de variação são fontes de variação aleatória, estáveis e repetitivas, que podem ser descritas por uma distribuição estatística bem definida. Diz-se que o processo se encontra sob controle estatístico, quando neste apenas estão presentes causas comuns. A redução ou eliminação do efeito destas causas implica, regra geral, a tomada de decisões pela gestão de topo sobre alterações a que o sistema deve ser sujeito;
- As causas especiais de variação são esporádicas, de magnitude superior às causas comuns de variação e provocam uma alteração na distribuição do processo. Sempre que se verifica a existência de pelo menos uma causa especial diz-se que o processo está fora de controle estatístico. A ocorrência de uma causa especial exige correções imediatas por parte dos intervenientes diretos nos processos (Cruz, 2013).

As cartas de controle começaram por ser aplicadas em processos industriais, tendo hoje aplicabilidade no controle estatístico de outros tipos de processos, tal como será apresentado no modelo proposto.

Preparação para Utilização das Cartas de Controle

Para que as cartas de controle sejam corretamente implementadas, é necessário uma fase preparatória que contemple genericamente os seguintes aspetos (Pereira & Requeijo, 2012):

- Formação adequada dos intervenientes dos processos, não só para que estes possam perceber as vantagens da implementação das cartas de controle, bem como aprender a utilizá-las e interpretá-las corretamente;
- Definição dos processos, das suas fronteiras e possíveis interações com outros processos, bem como dos fatores que os podem afetar;
- Identificação das características da qualidade que se pretende controlar, já que poderá não ser economicamente viável proceder-se ao controlo de todas as variáveis;
- Definição da informação a ser recolhida e dos sistemas de medição;
- Minimização da variação dos processos no período inicial de implementação do programa SPC.

Princípios das Cartas de Controle

Uma carta de controle define-se por um gráfico que mostra a evolução ao longo do tempo (t) de uma estatística (ω), referente a uma determinada característica da qualidade. Nas cartas de controle representam-se, para além dos pontos relativos ao par (t, ω) , o Limites Superior Controle (LSC), Limite Inferiores de Controle (LIC), bem como as Linhas Centrais (LC).

A Figura 3. 1 apresenta um esquema ilustrativo de uma carta de controle, considerando uma estatística ω .

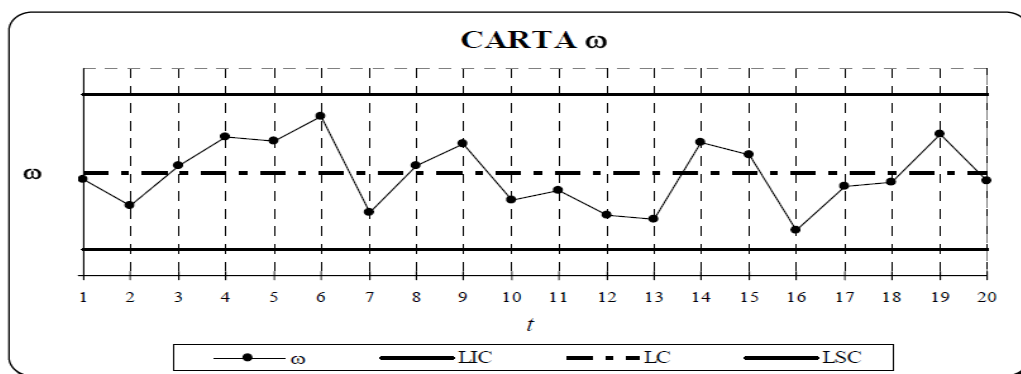


Figura 3. 1 – Carta de Controle [Fonte: Pereira & Requeijo (2012, p. 352)].

Diz-se que um processo está sob controlo estatístico quando apresenta um padrão perfeitamente aleatório no intervalo compreendido entre os limites de controle. Sempre que um ou mais pontos não pertencerem ao intervalo [LIC, LSC], ou os pontos representados no gráfico apresentem uma tendência especial e não um comportamento aleatório, pode inferir-se que o processo está fora de controlo estatístico (Salgado, 2012).

Os limites de controlo e a linha central de uma carta de controlo de Shewhart, assumindo que os valores da estatística ω seguem uma distribuição aproximadamente normal $N(\mu_\omega, \sigma_\omega^2)$ e que se localizam em $\alpha \pm 3\sigma_\omega$, são dados pelas equações (3. 1), (3. 2) e (3. 3).

$$LIC(\omega) = \mu_\omega - 3\sigma_\omega \quad (3. 1)$$

$$LC(\omega) = \mu_\omega \quad (3. 2)$$

$$LSC(\omega) = \mu_\omega + 3\sigma_\omega \quad (3. 3)$$

A probabilidade de qualquer ponto da distribuição ω se situar entre os limites é de 99.73%. Sempre que um ponto se situar fora dos limites de controlo, assume-se que tal é devido a causas especiais de variação, isto é, consideram-se que os valores correspondentes a estes pontos não pertencem à distribuição estatística que se está a controlar. Existe portanto um risco α , igual a 0.27%, de um ponto pertencer à distribuição ω e estar fora dos limites de controlo (Pereira & Requeijo, 2012).

A probabilidade α é o risco do produtor ou nível de significância, e adotando-se o critério de $\alpha=0.27\%$, de 370 em 370 pontos existirá, em média, um falso alarme, pois supõe-se erradamente que o valor de ω não pertence à distribuição que se está a considerar, quando na realidade pertence. Por sua vez a probabilidade β , o risco do consumidor, é a probabilidade de se assumir que o processo está sob controlo estatístico quando na realidade não está.

O ARL (*Average Run Length*) é a medida de desempenho mais comum para avaliar o desempenho de uma carta de controlo e representa o número médio de pontos até existir um ponto fora de controlo.

Quando o processo se encontra sob controlo estatístico ($ARL_{Em\ Controlo}$) pretende-se que este valor seja o maior possível, e o menor possível quando o processo se encontra fora do controlo estatístico ($ARL_{Fora\ de\ Controlo}$).

O $ARL_{Em\ Controlo}$ e $ARL_{Fora\ de\ controlo}$ são determinados através das equações (3. 4) e (3. 5).

$$ARL_{Em\ Controlo} = ARL_{EC} = \frac{1}{\alpha} \quad (3. 4)$$

$$ARL_{Fora\ de\ Controlo} = ARL_{FC} = \frac{1}{1 - \beta} \quad (3. 5)$$

Processo de Construção das Cartas de Controlo

O procedimento de construção de cartas de controlo é um processo iterativo que normalmente é composto por duas fases: A 1ª fase, na qual ainda se desconhecem os parâmetros do processo, e a 2ª fase, em que os parâmetros do processo já foram estimados. A 1ª fase corresponde a um controlo retrospectivo dos processos, enquanto a 2ª fase refere-se à monitorização dos processos (Pereira & Requeijo, 2012).

Regras para Detecção de Causas Especiais

Quando um processo está sob controlo estatístico, o padrão segundo o qual se dispõem os pontos numa carta de controlo deve ser perfeitamente aleatório.

Ao longo dos anos têm sido publicadas regras que permitem identificar padrões não aleatórios e que se baseiam na probabilidade mínima de ocorrência de cada um dos padrões (Pereira & Requeijo, 2012).

Para a aplicação destas regras considera-se o intervalo compreendido entre os limites de controlo, $LC \pm 3\sigma_w$, dividido em seis zonas iguais, cada uma das zonas com a largura equivalente a σ_w , designadas por A, B, C, C, B, A, tal como ilustrado na Figura 3. 2.

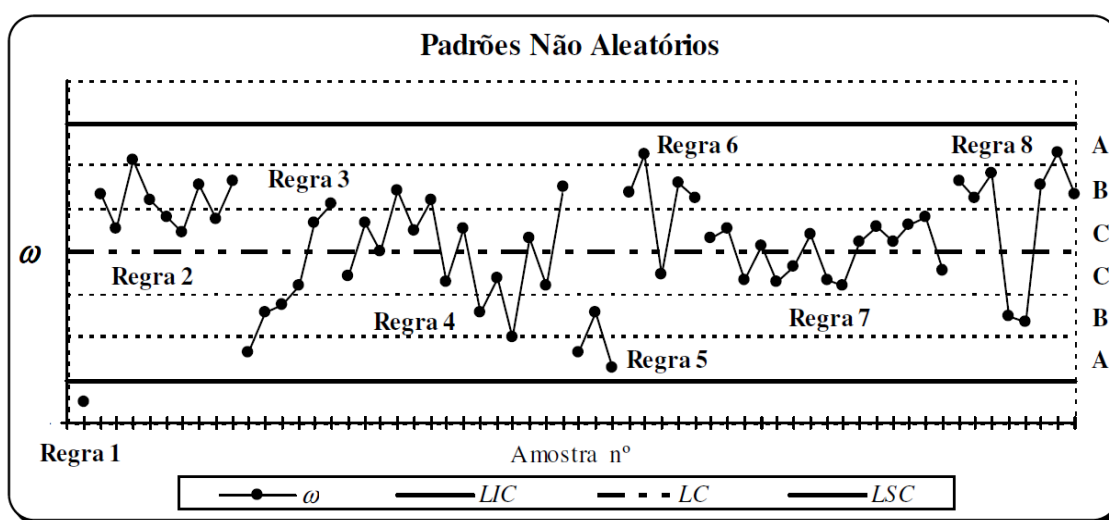


Figura 3. 2 – Regras de Detecção de Causas Especiais [Fonte: Pereira & Requeijo (2012, p. 352)].

Segundo a norma ISO 7870-2:2013 (ISO, 2013), devem ser consideradas 8 regras para detetar causas especiais de variação:

- **Regra 1** – Um qualquer ponto fora dos limites de ação (limites $\pm 3\sigma_w$);
- **Regra 2** – Nove pontos consecutivos na zona C ou para além da zona C do mesmo lado da linha central;
- **Regra 3** – Seis pontos consecutivos no sentido ascendente ou descendente;
- **Regra 4** – Catorze pontos consecutivos crescendo e decrescendo alternadamente;
- **Regra 5** – Dois de três pontos consecutivos na zona A, do mesmo lado da linha central;
- **Regra 6** – Quatro de cinco pontos consecutivos na zona B ou A, do mesmo lado da linha central;
- **Regra 7** – Quinze pontos consecutivos na zona C acima e abaixo da linha central;
- **Regra 8** – Oito pontos consecutivos de ambos os lados da linha central, sem nenhum na zona C.

O critério básico para identificar uma situação fora de controlo é a deteção de um ou mais pontos fora dos limites de controlo (Regra 1). As outras regras destinam-se, essencialmente, a aumentar a sensibilidade das cartas de controlo para detetar causas especiais de variação. No entanto, a aplicação simultânea de várias regras poderá aumentar significativamente o número de falsos alarmes, podendo originar um agravamento expressivo dos custos da qualidade (Pereira & Requeijo, 2012).

Recolha de Dados

A recolha de dados é um procedimento fulcral na implementação do SPC, pois se este processo não for realizado convenientemente poder-se-á incorrer no risco de se obter conclusões erradas com a aplicação das cartas de controlo. Neste procedimento, é fundamental que as unidades que constituem a amostra obedeçam a determinados requisitos e que sejam definidas desde logo as dimensões das amostras e as frequências de amostragem.

Na seleção da dimensão da amostra e da frequência de amostragem deve ser considerada a ordem de grandeza da alteração que se pretende detetar. Em termos gerais, a utilização de amostras de grandes dimensões e com frequências de amostragens elevadas, facilita a deteção de pequenas variações no processo. No entanto, é necessário efetuar análises custo-benefício pois, quanto maior for a dimensão da amostra e a frequência de amostragem, maior será o custo direto inerente à utilização das cartas de controlo.

As cartas de controlo baseiam-se numa recolha de dados de acordo com subgrupos (amostras), no entanto devido à especificidade de alguns processos, nem sempre é possível obter subgrupos, podendo a análise ser feita com base em observações individuais.

Capacidade do Processo

Com a utilização das cartas de controlo não só se pretende verificar se os processos estão ou não sob controlo estatístico, como também aferir se os mesmos têm ou não capacidade de se desenvolver de acordo com as especificações estabelecidas. Caso se constate que um dado processo se encontra sob controlo estatístico, mas que o mesmo não é capaz de se desenvolver segundo as especificações, é necessário a intervenção da gestão de topo de modo a que essa situação se inverta, pois essa situação gerará um número indesejado de artigos não conformes.

Ao longo dos anos têm sido desenvolvidos os chamados Índices de Capacidade do Processo que permitem avaliar como é que o processo se está a desenvolver, face às especificações técnicas ou funcionais (Machado, 2010).

O primeiro índice de capacidade a ser utilizado foi o Índice de Capacidade Potencial (C_p), que é definido, caso a especificação seja bilateral, pela equação (3. 6).

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (3.6)$$

É habitual considerar-se que o processo é potencialmente capaz se o valor de C_p for igual ou superior a 1.33 (Pereira & Requeijo, 2012).

Um processo ser potencialmente capaz, não significa que o seja, pois, poder-se-á estar na presença de um processo com $C_p \geq 1.33$ e a sua média não estar centrada no seu valor nominal.

Assim, surgiu outro indicador de desempenho do processo, nomeadamente, o índice de capacidade C_{pk} . Este índice é definido por $C_{pk} = \min((C_{pk})_I; (C_{pk})_S)$, sendo estes dois subíndices dados pelas equações (3. 7) e (3. 8). O índice C_{pk} considera não só a dispersão como também a localização (média) do processo.

$$(C_{pk})_I = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad (3.7)$$

$$(C_{pk})_S = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \quad (3.8)$$

Assim, considera-se que o processo é capaz, se $C_{pk} \geq 1.33$, para uma especificação bilateral, e $C_{pk} \geq 1.25$, para uma especificação técnica unilateral.

Quando $(C_{pk})_I = (C_{pk})_S$ diz-se que o processo está centrado. Por outro lado, se $(C_{pk})_I \neq (C_{pk})_S$ o processo não se encontra centrado e a média do processo não coincide com o valor especificado.

Um outro indicador, o índice C_{pm} , considera o desvio da média em relação ao valor nominal (T) no intervalo natural do processo e adota o mesmo princípio do índice C_p , sendo este índice obtido através da equação (3. 9).

$$C_{pm} = \frac{LSE - LIE}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (3.9)$$

A terceira geração dos índices de capacidade, introduz o índice C_{pmk} , análogo ao C_{pk} , mas que tal como C_{pm} , considera no intervalo de tolerância natural do processo, o desvio da média relativamente ao valor nominal. Este índice é definido pela equação (3. 10).

$$C_{pmk} = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}; \frac{\mu - LIE}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}\right) \quad (3.10)$$

Tipos de Cartas de Controlo

As cartas tradicionais podem ser agrupadas em dois tipos, as cartas de controlo de variáveis e as cartas de controlo de atributos.

As cartas de controlo de variáveis são utilizadas para características que podem ser medidas e expressas numa escala contínua. Para estas características devem ser construídas duas cartas, uma para

controlar o parâmetro localização e outra para controlar o parâmetro dispersão (Pereira & Requeijo, 2012).

Por sua vez, utilizam-se as cartas de controlo de atributos, quando as características não podem ser medidas numa escala contínua e assumem valores discretos, como por exemplo, o número de unidades não conforme ou o número de defeitos. No controlo dos atributos, constrói-se apenas uma carta (Pereira & Requeijo, 2012).

Na Tabela 3. 1 encontram-se sintetizadas as cartas mais utilizadas no controlo estatístico tradicional.

Tabela 3. 1 – Tipos de Cartas de Controlo [Fonte: Pereira & Requeijo (2012, p.361)].

Cartas de Controlo – Tradicionais	
Variáveis	Atributos
Média e Amplitude Carta \bar{X} e Carta R	Proporção de unidades não conformes Carta p
Média e Desvio Padrão Carta \bar{X} e Carta S	Número de unidades não conformes Carta np
Média e Variância Carta \bar{X} e Carta S^2	Número de defeitos Carta c
Mediana e Amplitude Carta \tilde{X} e Carta R	Número de defeitos por unidade Carta u
Observações Individuais e Amplitudes Móveis Carta X e Carta MR	

3.3. CONTROLO ESTATÍSTICO DE “PEQUENAS PRODUÇÕES”

Em alguns processos reais não é possível recolher um número de dados suficientes para que se possa proceder à estimativa dos parâmetros, impossibilitando assim o controlo estatístico tradicional. Para responder a esta necessidade, surge a metodologia desenvolvida por Charles Quesenberry, que propõe que a característica da qualidade X, seja transformada numa variável Q (Pereira & Requeijo, 2012).

No controlo estatístico de pequenas produções todos os pressupostos das cartas de controlo tradicionais são válidos, incluindo as regras de deteção de padrões não aleatórios. Estas cartas de controlo, à semelhança das cartas tradicionais, também se podem dividir em duas tipologias, as cartas de controlo de variáveis e as cartas de controlo de atributos.

As cartas de controlo de “pequenas produções” podem ainda ser divididas em dois tipos de cartas, dependendo da existência, ou não, de dados suficientes para estimar os parâmetros do processo, tal como sintetizado na Tabela 3. 2.

Tabela 3. 2 – Tipos de Cartas de Controlo para “Pequenas Produções”
[Adaptado de Pereira & Requeijo (2012, p.502)].

Cartas de Controlo – Pequenas Produções		
	Variáveis	Atributos
Número suficiente de dados para estimar os parâmetros dos processos	Média, Amplitude e Desvio Padrão Cartas Z e W	Unidades não Conforme Carta Zp
		Defeitos por Unidade Carta Zu
Número insuficiente de dados para estimar os parâmetros dos processos	Média e Variância Carta Q (\bar{X}) e Q (S^2)	Unidades não Conforme Carta Qp
	Observações Individuais e Amplitudes Móveis Cartas Q (Carta Q (X) e Q (MR))	
	Cartas Especiais Cartas CUSUMQ ou EWMAQ	Defeitos por Unidade Carta Qu

No presente trabalho e dado o potencial número insuficiente de dados para estimar os parâmetros do processo, apenas serão abordadas as Carta Q para Observações Individuais e Amplitudes Móveis (Carta Q (X) e Carta Q (MR)) e as cartas especiais CUSUMQ e EWMAQ.

3.3.1. CARTA Q PARA OBSERVAÇÕES INDIVIDUAIS E AMPLITUDES MÓVEIS

Esta metodologia considera que a variável Q segue aproximadamente a distribuição Normal Reduzida $N(0,1)$, com média de zero e uma variância unitária, e que a variável X é independente e identicamente distribuída de acordo com uma distribuição normal $N(\mu, \sigma^2)$. Esta metodologia transforma as estatísticas determinadas no instante r, através das estimativas dos parâmetros no instante (r-1), considerando todos os dados anteriores a esse instante (Lampreia, 2013).

Nas equações seguintes consideram-se:

- X_r – Observação no instante r;
- \bar{X}_{r-1} – Média de (r-1) observações;
- S_{r-1} – Desvio padrão da amostra constituída por (r -1) observações;
- MR_r – Amplitude móvel no instante r;

- ϕ^{-1} – Inverso da Função de Distribuição Normal;
- G_{r-2} – Função da Distribuição *t-Student* com $r - 2$ graus de liberdade;
- $F_{1,v}$ – Função da Distribuição de *Fisher* com 1 e v graus de liberdade.

A estatística Q , que se obtém a partir da estatística X no instante r , é determinada através da equação (3. 11).

$$Q_r(X_r) = \phi^{-1} \left(G_{r-2} \left(\sqrt{\frac{r-1}{r}} \left(\frac{X_r - \bar{X}_{r-1}}{S_{r-1}} \right) \right) \right), r = 3, 4, \dots \quad (3. 11)$$

As cartas Q (MR) controlam a dispersão dos processos a partir de $r = 4$. Estas cartas também são construídas a partir da estatística Q , obtida com a transformação da estatística MR, através da equação (3. 12).

$$Q_r(MR_r) = \phi^{-1} \left(F_{1,v} \left(\frac{v(MR)^2}{(MR)_2^2 + (MR)_4^2 + \dots + (MR)_{r-2}^2} \right) \right), r = 4, 6, \dots \quad (3. 12)$$

Em que:

$$v = \frac{r}{2} - 1 \quad (3. 13)$$

A média, a variância amostral e a amplitude móvel, no instante r , obtêm-se a partir das equações (3. 14), (3. 15) e (3. 16), respetivamente.

$$\bar{X}_r = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r X_j \quad (3. 14)$$

$$S_r^2 = \frac{1}{r-1} \sum_{j=1}^r (X_j - \bar{X}_r)^2 \quad (3. 15)$$

$$MR_r = |X_r - X_{r-1}| \quad (3. 16)$$

Os limites para as cartas Q (X) e Q (MR) são obtidos através das equações (3. 17) e (3. 18), respetivamente.

$$\begin{aligned} LSC_{Q(X)} &= 3 \\ LC_{Q(X)} &= 0 \\ LIC_{Q(X)} &= -3 \end{aligned} \quad (3. 17)$$

$$\begin{aligned}
LSC_{Q(MR)} &= 3 \\
LC_{Q(MR)} &= 0 \\
LIC_{Q(MR)} &= -3
\end{aligned}
\tag{3.18}$$

Quando se verifica uma causa especial de variação no instante r , esse valor é retirado do cálculo da estatística Q .

3.3.2. CARTA DE CONTROLO CUSUMQ

As cartas CUSUMQ surgem como alternativa ou complementaridade às cartas Q quando se pretende detetar pequenas ou moderadas alterações nos parâmetros dos processos. Para se aumentar a sensibilidade das cartas CUSUMQ na deteção de causas especiais, devem ser aplicadas as regras mencionadas na seção 3.2.

Estas cartas são constituídas por duas semi-cartas, uma para detetar aumentos e a outra para detetar diminuições da média dos processos. Para a construção da carta CUSUMQ utilizam-se duas variáveis, T e C , definidas pelas equações (3.19) e (3.20).

Nas equações seguintes considera-se:

- k – Valor de referência;
- Δ – Alteração na média do processo;
- δ – Alteração na média do processo, em número de desvios padrão;
- $\sigma_{\bar{X}}$ – Desvio padrão de médias de amostras.

Assim:

$$T_r = \min(0, T_{r-1} + (Q_r + k)) \tag{3.19}$$

$$C_r = \max(0, C_{r-1} + (Q_r - k)) \tag{3.20}$$

Em que:

$$T_0 = 0 \tag{3.21}$$

$$C_0 = 0 \tag{3.22}$$

$$\delta = \frac{\Delta}{\sigma_{\bar{X}}} \tag{3.23}$$

$$k = \frac{\delta}{2} \tag{3.24}$$

A variável C permite detetar aumentos significativos da média, por sua vez, a variável T permite detetar diminuições da média do processo. Considera-se que o processo está fora de controlo estatístico, quando se verifica uma das condições representadas nas equações (3. 25) e (3. 26) (Salgado, 2012).

$$T_r < -h \quad (3. 25)$$

$$C_r > h \quad (3. 26)$$

Assim, o limite inferior e superior da carta CUSUMQ são, respetivamente, -h e h, sendo que o valor de h poderá ser obtido com base nos ábacos que se encontram apresentados na Figura I. 1 do Anexo I, e relacionam os dois parâmetros, k e h, com a medida de desempenho, ARL.

3.3.3. CARTAS DE CONTROLO EWMAQ

À semelhança das cartas CUSUMQ podem-se construir as cartas da média móvel exponencial amortecida quando existe um número restrito de dados, e se pretende detetar pequenas ou moderadas alterações dos parâmetros do processo. As estatísticas Q são determinadas como descrito na secção 3.3.1, pela equação (3. 11).

Nas equações seguintes considera-se:

- E_r – Média móvel exponencialmente amortecida para o instante r;
- E_0 – Valor inicial da variável E;
- σ_E^2 – Variância da variável E;
- λ – Constante de amortecimento.

Na carta EWMAQ, a variável exponencial amortecida, E, é definida pela equação (3. 27).

$$E_r = (1 - \lambda)E_{r-1} + \lambda Q_r \quad (3. 27)$$

Os limites de controlo desta carta são dados pela equação (3. 28).

$$\begin{aligned} LSC_E &= E_0 + K\sigma_E = K\sigma_E \\ LC_E &= E_0 = 0 \\ LIC_E &= E_0 - K\sigma_E = -K\sigma_E \end{aligned} \quad (3. 28)$$

A variável Q segue a distribuição Normal reduzida ($\mu_Q = 0$ e $\sigma_Q^2 = 1$), pelo que:

$$E_0 = \mu_Q = 0 \quad (3. 29)$$

$$\sigma_E^2 = \sigma_Q^2 \left(\frac{\lambda}{2 - \lambda} \right) (1 - (1 - (1 - \lambda)^{2r})) = \left(\frac{\lambda}{2 - \lambda} \right) (1 - (1 - (1 - \lambda)^{2r})) \quad (3. 30)$$

Por sua vez, os valores de λ e de K são determinados com base nos ábacos que se encontram apresentados na Figura II. 1 e na Figura II. 2 do Anexo II, e relacionam os dois parâmetros, λ e K , com a medida de desempenho ARL.

3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos fundamentos teóricos apresentados no presente capítulo relativamente às cartas de controlo em geral, e em particular ao controlo estatístico de “Pequenas Produções”, no capítulo seguinte, irá propor-se um modelo, que implementa as cartas de controlo na gestão clássica das reservas na CCPM. Desta forma pretende-se criar um modelo robusto para BM, de forma a aumentar a sensibilidade da análise de desempenho dos projetos e aferir antecipadamente a tendência de consumos excessivos das reservas.

4. Gestão de Reservas: Modelo Proposto

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No presente capítulo descrever-se-á o modelo proposto para a implementação de cartas de controlo na Gestão de Projetos pela Cadeia Crítica (CCPM), em particular na Gestão de Reservas (BM). Este modelo tem como principal inovação o controlo estatístico, com recurso a cartas de controlo, do consumo das reservas.

Como sintetizado na Figura 4. 1, o modelo proposto, para a gestão de tempo de projetos, é constituído por três fases: Planeamento e Programação do Projeto; Controlo e Avaliação do Projeto; e Gestão do Projeto.

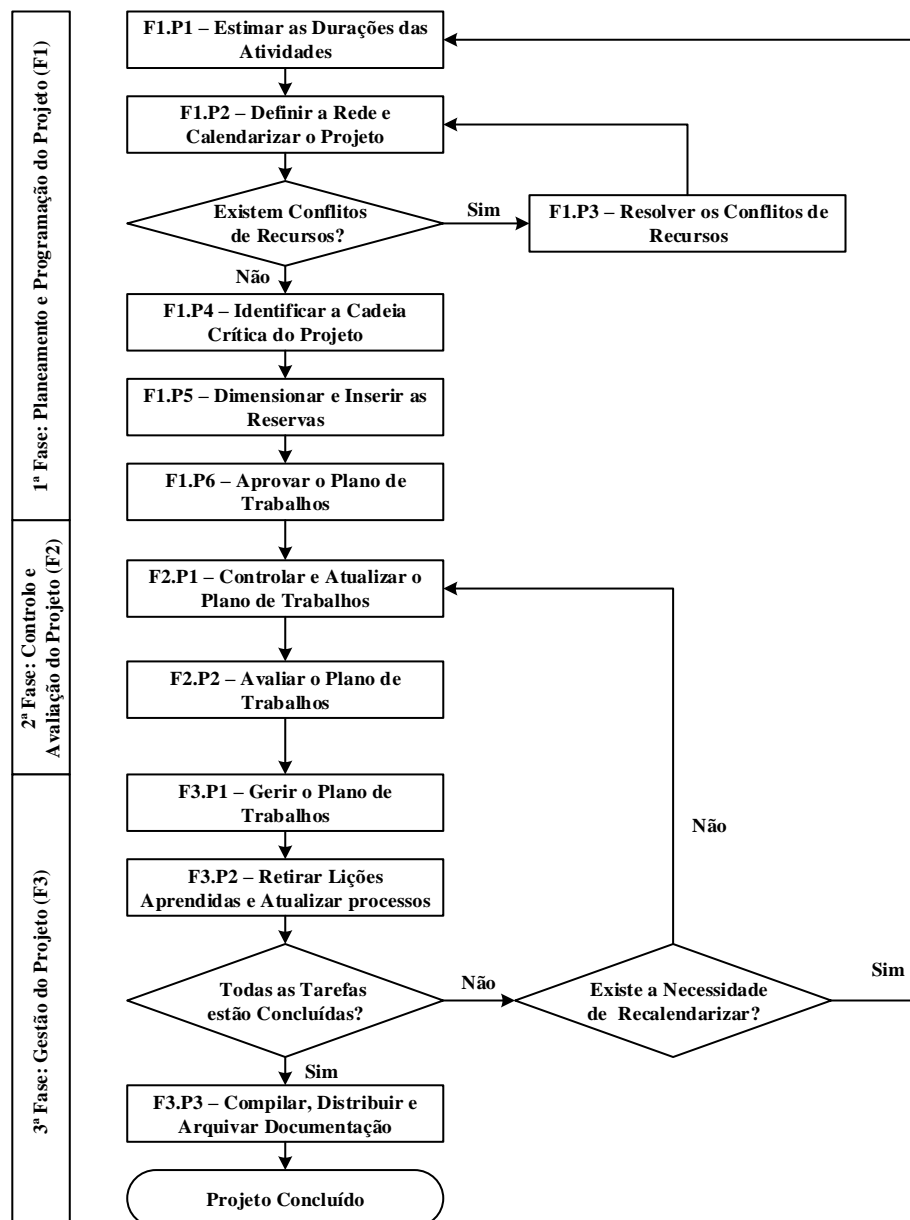


Figura 4. 1 – Fluxograma do Modelo Proposto.

Com o modelo proposto, procura-se ter uma aplicabilidade efetiva na gestão de riscos de derrapagem de prazos de projetos, não só na indústria da construção como em projetos de outras áreas, nomeadamente na indústria naval. Este modelo será detalhado e desenvolvido nas secções seguintes.

4.2. PLANEAMENTO E PROGRAMAÇÃO DO PROJETO (F1)

Na Figura 4. 2 encontra-se sistematizada a primeira fase do modelo proposto.

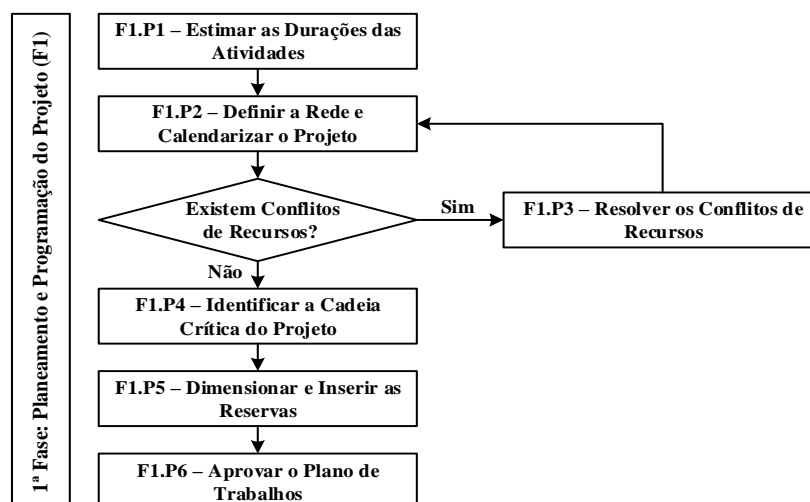


Figura 4. 2 – Primeira Fase do Método Proposto.

Nas secções seguintes serão desenvolvidos os respetivos processos desta fase.

4.2.1. ESTIMAR AS DURAÇÕES DAS ATIVIDADES (F1.P1)

A estimativa das durações das atividades é um dos maiores problemas da gestão de projetos em geral, e em particular da gestão de tempo. Segundo Tenera (2006), um dos fatores mais determinantes da representatividade do modelo à realidade é a adequabilidade dos valores estimados.

Na estimativa das durações das atividades dever-se-á ter em conta as restrições e os pressupostos das atividades, as restrições dos recursos, dos equipamentos e dos materiais, assim como a informação disponível relativamente a fatores de risco, a sua probabilidade de ocorrência e os seus respetivos impactos.

A duração de uma atividade, segundo a CCPM, apresenta tipicamente uma função de probabilidade, sendo que as distribuições geralmente mais utilizadas são as distribuições Uniformes, Triangulares e a Beta.

A aplicação da CCPM carece de duas estimativas para cada atividade, a duração alvo (mais frequente) e uma duração máxima admitida (pessimista). As durações pessimistas, permitirão caracterizar as variações máximas previstas consideradas para a execução de cada atividade do projeto. No entanto, e com vista a utilização de distribuições triangulares, é necessário estimar as durações mínimas (otimistas) para cada atividade.

Apesar das distribuições Triangulares apresentarem formas algo irrealistas relativamente às distribuições Beta, estas são conceptualmente mais simples e mais utilizadas em modelos reais, quando existe falta de informação objetiva e representativa, relativamente à duração das atividades.

Regra geral, e devido à maior probabilidade de ocorrência de situações adversas ao normal desenvolvimento das atividades, comparativamente com as situações que traduzem melhorias ao desenvolvimento normal das mesmas, poder-se-á admitir a existência de uma maior proximidade entre a duração otimista e a duração alvo do que entre a duração alvo e as pessimistas.

4.2.2. DEFINIR A REDE E CALENDARIZAR O PROJETO (F1.P2)

Tal como referido na seção 2.3.2.2, propõe-se que o processo de construção da rede do projeto seja ser dividido em duas fases, uma primeira fase de criação e uma segunda de verificação. Segundo as práticas da CCPM, a primeira fase da construção da rede segue uma lógica inversa à prática tradicional, isto é, a rede é construída da atividade final para as atividades antecessoras. No entanto, no modelo proposto, recomenda-se que quer a fase de criação quer a fase de verificação da rede sejam efetuadas utilizando uma lógica direta, ou seja, das atividades iniciais para a atividade final do projeto. Deve-se no entanto assegurar que o projeto tem apenas uma atividade final, podendo apresentar mais do que uma atividade inicial.

A equipa do projeto, durante a primeira fase de construção da rede, deverá procurar determinar para cada atividade, o objetivo a alcançar, os requisitos e os pressupostos considerados, nomeadamente os recursos necessários para a execução das atividades. Desta forma, nas fases posteriores, poder-se-á consultar e se necessário reajustar os critérios determinados.

Na segunda fase, a rede obtida deverá ser analisada e reavaliada, procurando-se validar todas as interligações relevantes identificadas e, eventualmente, incorporar interligações que possam não ter sido detetadas na primeira fase.

4.2.3. RESOLVER OS CONFLITOS DE RECURSOS (F1.P3)

Para definir o programa de trabalhos, com recursos limitados, será necessário proceder à afetação dos recursos logo na fase inicial do projeto, o que poderá resultar em limitações adicionais ao desenvolvimento técnico do plano de trabalhos.

Existe um grande número de publicações, de maior ou menor complexidade, centralizadas na criação de programas de trabalhos, que respeitem precedências lógicas e de recursos, designados por Problemas de Programação de Projetos com Recursos Limitados (*Resource Constrained Project Scheduling Problem* - RCPSP).

No entanto, e apesar da criação do plano de trabalhos à luz da CCPM constituir um RCPSP, não se propõe qualquer tipo de algoritmo para a resolução dos conflitos de recursos. Assim, a equipa de

projeto deverá decidir e aplicar os métodos que estrategicamente ou matematicamente considerarem mais adequadas para a resolução dos conflitos.

4.2.4. IDENTIFICAR A CADEIA CRÍTICA (F1.P4)

Poder-se-á descrever a cadeia crítica como sendo a sequência mais longa de atividades numa rede, que considera tanto as sequências tecnológicas das atividades como as limitações e as afetações de recursos. Na prática, depois de se resolver os conflitos de recursos, poder-se-á identificar a cadeia crítica como sendo a sequência mais longa da rede, constituída pelas atividades que definem a duração do projeto, isto é, as atividades críticas.

4.2.5. DIMENSIONAR E INSERIR AS RESERVAS (F1.P5)

Uma vez estimada a duração das atividades, definido o cronograma, resolvidos os conflitos de recursos e identificada a cadeia crítica, segue-se o dimensionamento da reserva do projeto (PB) e das reservas de alimentação (FB's) pela lógica da CCPM.

Propõem-se que o dimensionamento da PB e das FB's seja efetuado de acordo com o método Simulação para a Melhoria da Calendarização CCPM (SMC), proposto por Tenera (2006), tal como ilustrado na Figura 4. 3.

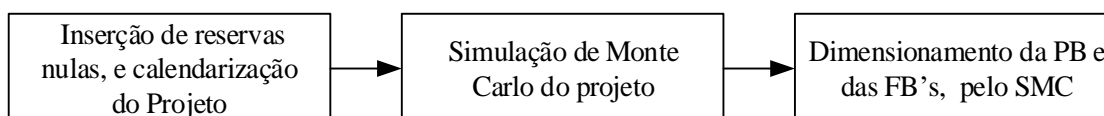


Figura 4. 3 – Método Simulação de Monte Carlo.

A primeira fase deste processo consiste em inserir reservas nulas e calendarizá-las no projeto com recurso, por exemplo, ao ProChain. O ProChain é uma aplicação, que se adiciona ao MS Project, que permite dimensionar e inserir reservas temporais de acordo com os princípios do método M50, no entanto permite alterar as dimensões das reservas inseridas, tal como representado na Figura 4. 4 (ProChain, 2014).

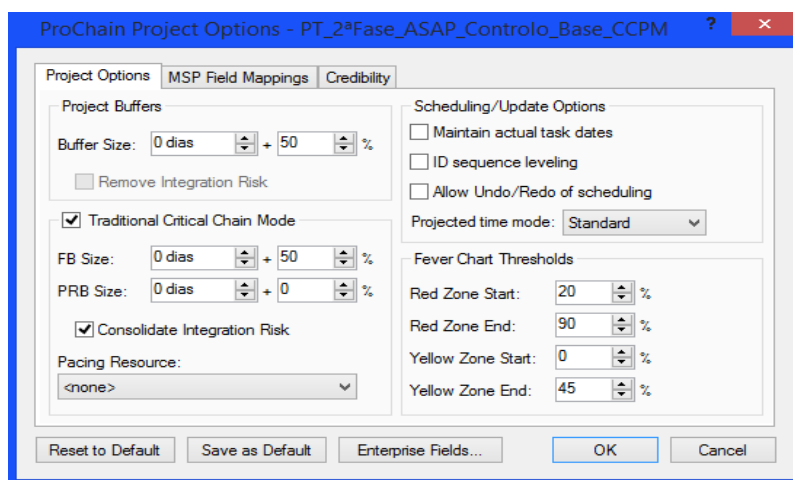


Figura 4. 4 – Dimensionamento das Reservas no ProChain.

A segunda fase deste processo é o dimensionamento das reservas pela simulação de Monte Carlo com auxílio, por exemplo, do @RISK. Esta aplicação possibilita, através da simulação de Monte Carlo, criar vários cenários e com eles calcular a data provável de conclusão de cada uma das tarefas. O @RISK permite ainda identificar as atividades que apresentam maior variabilidade, logo, maior risco.

Com a aplicação @RISK, que também é uma aplicação que se adiciona ao MS Project, atribuem-se às durações das atividades, regra geral, e tal como exposto na seção 4.2.1, distribuições Triangulares.

Na última fase deste processo, as reservas temporais são dimensionadas como sendo a diferença entre a data de conclusão correspondente ao percentil 95 e a data de conclusão inicialmente estimada, sem se considerar as reservas temporais.

Na introdução das reservas poder-se-á considerar duas alternativas: rejeitar ou aceitar a programação do projeto com quebras na cadeia crítica, tal como exposto na secção 2.3.2.4. Aceitando quebras na cadeia crítica, poder-se-á obter datas de início de cadeia que antecedem a data de início do projeto, o que regra geral não é aconselhável. Não sendo aceites quebras na cadeia crítica, as FB's poderão ficar substancial ou totalmente inutilizadas, no entanto poder-se-á aumentar a dimensão da PB para reduzir o risco adicionado.

4.2.6. APROVAR O PLANO DE TRABALHOS (F1.P6)

A aprovação do plano de trabalhos é o último processo da primeira fase e consiste na definição de um programa preditivo, designado por programa base (*baseline*). Este programa, deve ser do conhecimento de todos os intervenientes do projeto e é o resultado final da primeira fase, devendo ser o documento formal de base para a execução, controlo, avaliação e gestão do projeto.

4.3. CONTROLO E AVALIAÇÃO DO PROJETO (F2)

4.3.1. CONTROLAR E ATUALIZAR O PROGRAMA DE TRABALHOS (F2.P1)

De acordo com os princípios da CCPM, o período entre atualizações do programa de trabalhos deverá ser inferior a um terço da PB. No modelo proposto, e tendo em consideração a utilização de cartas de controlo, sugere-se que o período entre atualizações não seja superior a 1/30 da duração total do projeto. Assim, pretende-se que seja possível a obtenção de cartas de controlo com sensibilidade adequada, sem que haja um custo adicional elevado, inerente à utilização das cartas de controlo.

Deverá preferencialmente fazer-se o controlo diariamente ou semanalmente de acordo com a duração do projeto, para que desta forma, os dados recolhidos tenham a quantidade e a qualidade desejada, de forma a permitir retirar ilações das cartas de controlo das reservas.

4.3.2. AVALIAR O PLANO DE TRABALHOS (F2.P2)

Avaliação Clássica da CCPM

A avaliação clássica da CCPM, tal como exposto no subcapítulo 2.3.3, considera que o consumo das reservas está dividida em três zonas de referência, classicamente denominadas como verde, amarela, e vermelha. Neste método, propõe-se que o gráfico do consumo das reservas seja em função do número de observações e não em função da percentagem da CC concluída, com vista à comparação mais expedita entre as várias ferramentas utilizadas na avaliação do projeto.

Propõe-se ainda a utilização do seguinte indicador do consumo real da reserva (I_{CR}):

$$I_{CR} = \frac{C_R}{C_E} \quad (4.1)$$

Em que C_R é o consumo da reserva para um determinado instante e o C_E é o consumo inicial expectável para esse respetivo momento.

Na Figura 4. 5 está representado um exemplo do gráfico do consumo das reservas, em que % CB é o consumo da reserva e I_{CR} é o indicador do consumo real da reserva.

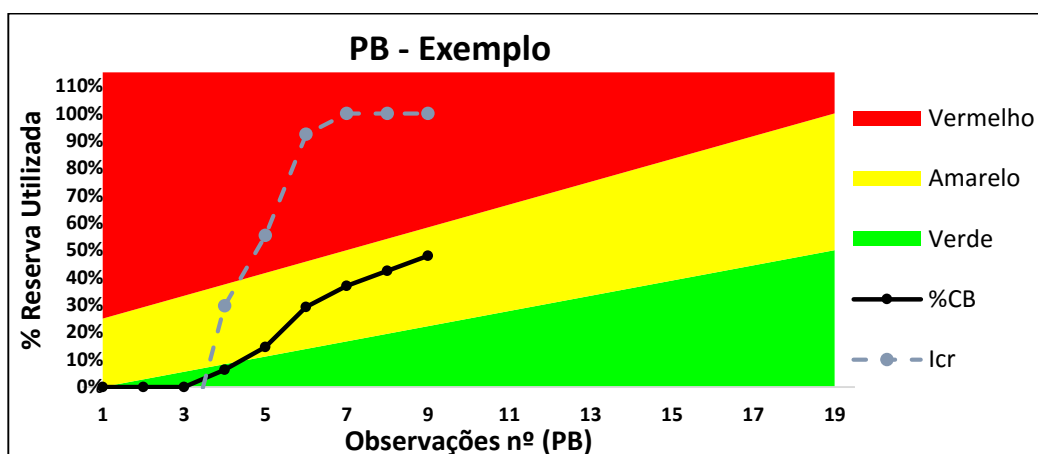


Figura 4. 5 – Exemplo do Gráfico do Consumo das Reservas.

Sempre que o valor de I_{CR} for superior a 1, o consumo da reserva estará a ser superior ao que seria inicialmente expectável. Com a análise deste indicador, ao longo do tempo, poder-se-á aferir sobre a tendência de consumo excessivo das reservas.

Avaliação Recorrendo às Cartas de Controlo

Com a utilização das cartas de controlo procuram-se utilizar ferramentas estatísticas para apoiar a tomada de decisão na gestão de projetos. Pretende-se que estas ferramentas sejam assim complementares à gestão clássica das reservas, para desta forma aumentar a sensibilidade da avaliação do desempenho dos projetos.

A Figura 4. 6 ilustra o fluxograma proposto para o processo de construção das cartas de controlo.

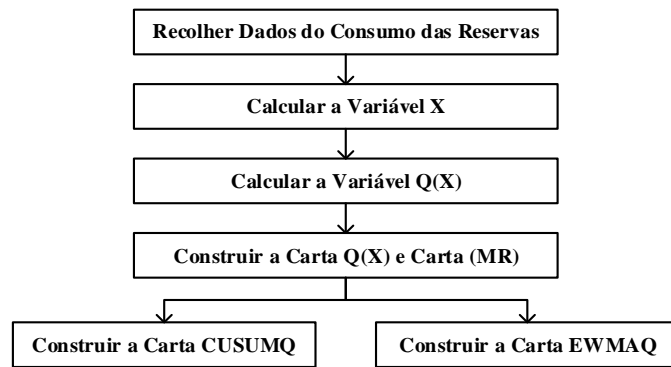


Figura 4. 6 – Processo de Construção das Cartas de Controlo.

As cartas utilizadas na avaliação das reservas, e dado o número potencialmente insuficiente de dados para estimar os parâmetros do processo, serão as cartas $Q(X)$, as cartas (MR) e as carta CUSUMQ ou as carta EWMAQ.

Os dados recolhidos para a construção das cartas, serão os valores dos consumos das respetivas reservas até ao instante r . Por sua vez, a variável X , corresponderá ao valor da reserva consumida entre o instante r e o instante $r-1$. A variável $Q(X)$ é obtida a partir da variável (X) , de acordo com a equação (3. 11), apresentada na seção 3.3.1.

A construção das cartas de controlo deverá ser efetuada de acordo com o apresentado no subcapítulo 3.3 e auxilio, por exemplo, do Microsoft (MS) Excel.

4.4. GESTÃO DO PROJETO (F3)

Um dos principais fatores de diferenciação da CCPM é a forma como é gerido o plano de trabalhos e a execução do projeto. A gestão acompanha a evolução do projeto pelo controlo do consumo das reservas. Na Figura 4. 7 encontra-se sistematizada a terceira fase do método proposto. Nas secções seguintes serão desenvolvidos os respetivos processos desta fase.

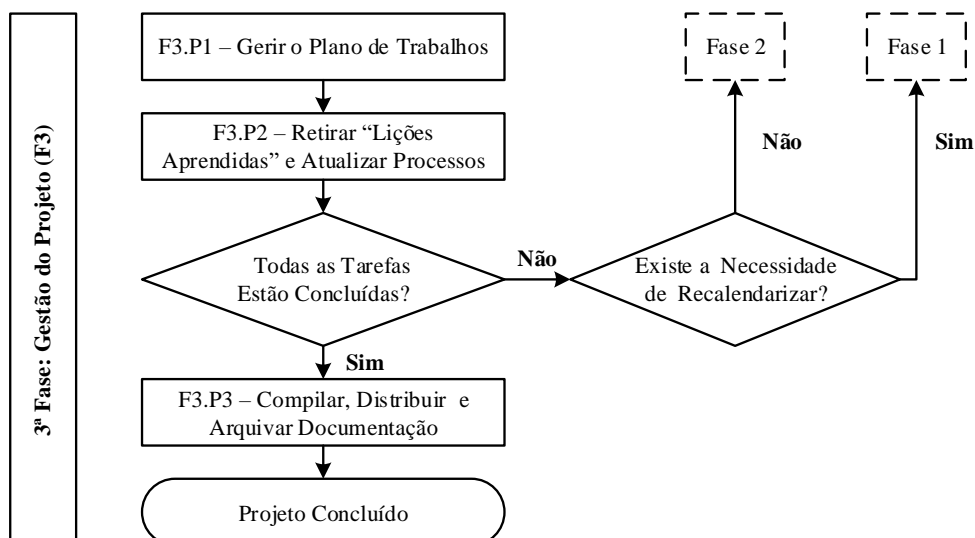


Figura 4. 7 – Fluxograma da 3ª Fase do Modelo Proposto.

4.4.1. GERIR O PLANO DE TRABALHOS (F3.P1)

No presente modelo, propõe-se para a gestão de riscos de derrapagem de prazos do projeto, a utilização conjunta das ferramentas clássicas da BM, com as cartas de controlo.

A utilização das cartas de controlo na BM permite verificar se o processo está, ou não, sob controlo estatístico. Permite também detetar causas especiais de variação e permite ainda detetar aumentos ou diminuições significativas no consumo das reservas.

A Figura 4. 8 ilustra o fluxograma proposto para o processo de gestão do plano de trabalhos.

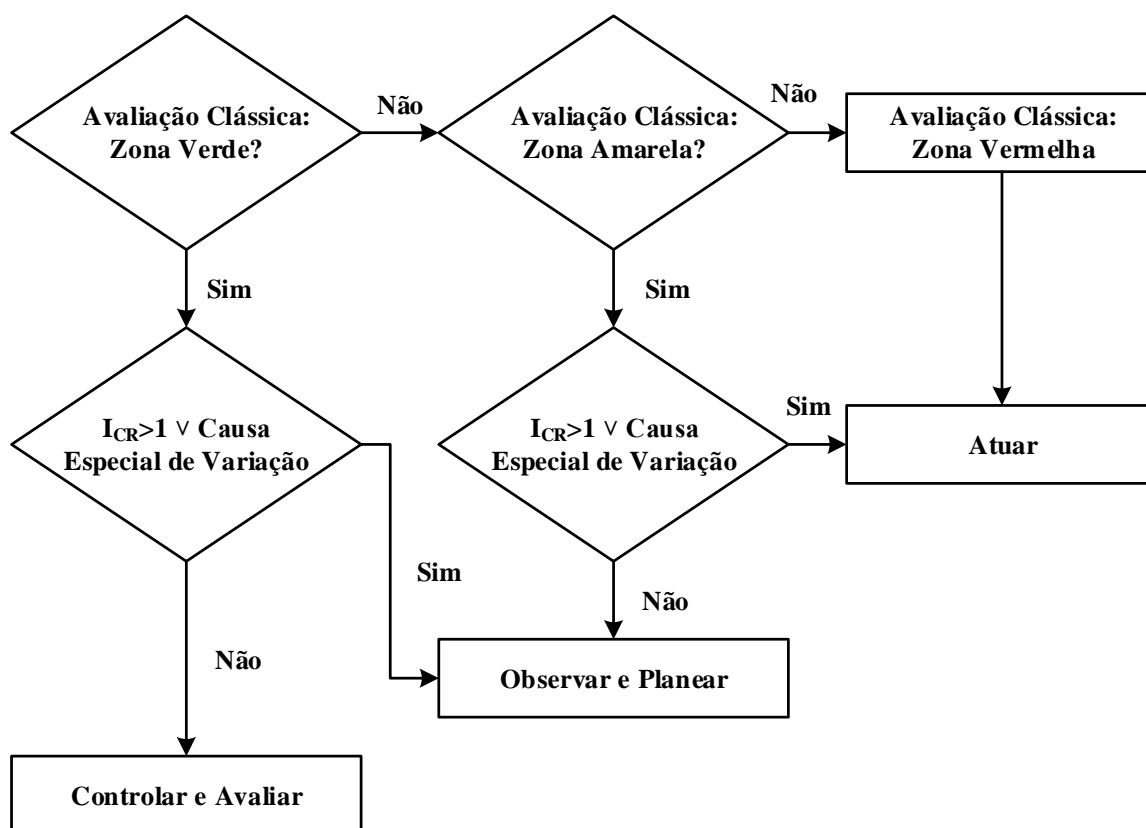


Figura 4. 8 – Fluxograma do Processo de Gestão das Reservas.

No modelo proposto, mesmo que as reservas estejam na zona verde, devem ser verificados os consumos das reservas recorrendo às cartas de controlo. Desta forma, pretende-se distinguir causas comuns de causas especiais de variação e identificar ainda a existência de tendências e desvios significativos nos consumos das reservas temporais, mesmo que estes ainda não tenham produzido impacto significativo na duração prevista para o projeto.

No exemplo apresentado na Figura 4. 9 e na Figura 4. 10, é possível verificar que apesar da reserva se encontrar na zona verde (Figura 4. 9), na carta CUSUMQ (Figura 4. 10), $C23 > h$, o que permite detetar a ocorrência de um aumento de pelo menos um σ da média do consumo da PB.

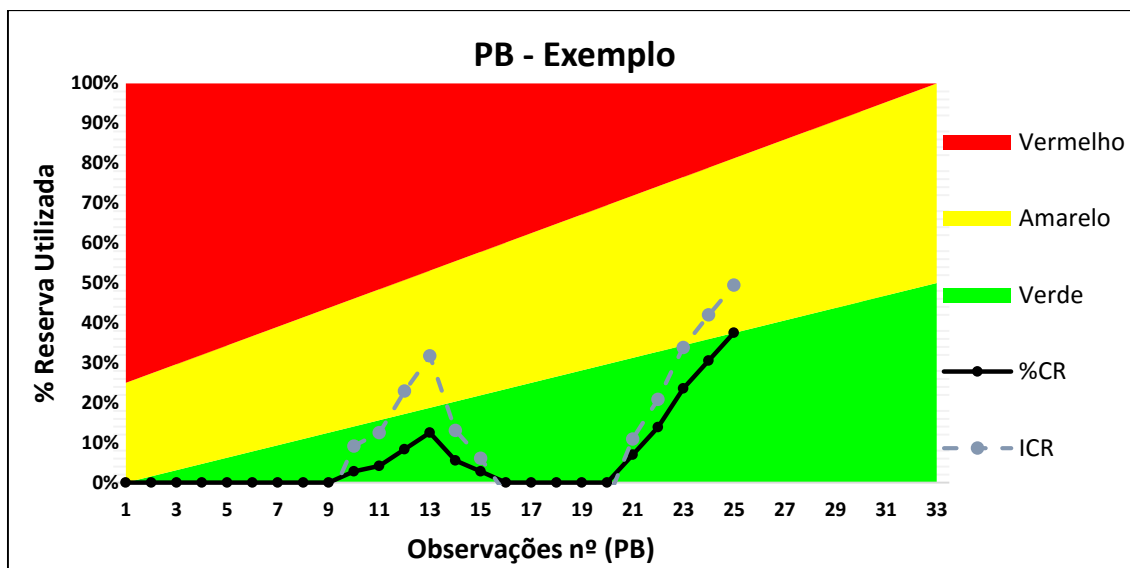


Figura 4. 9 – Exemplo do Gráfico do Consumo da PB.

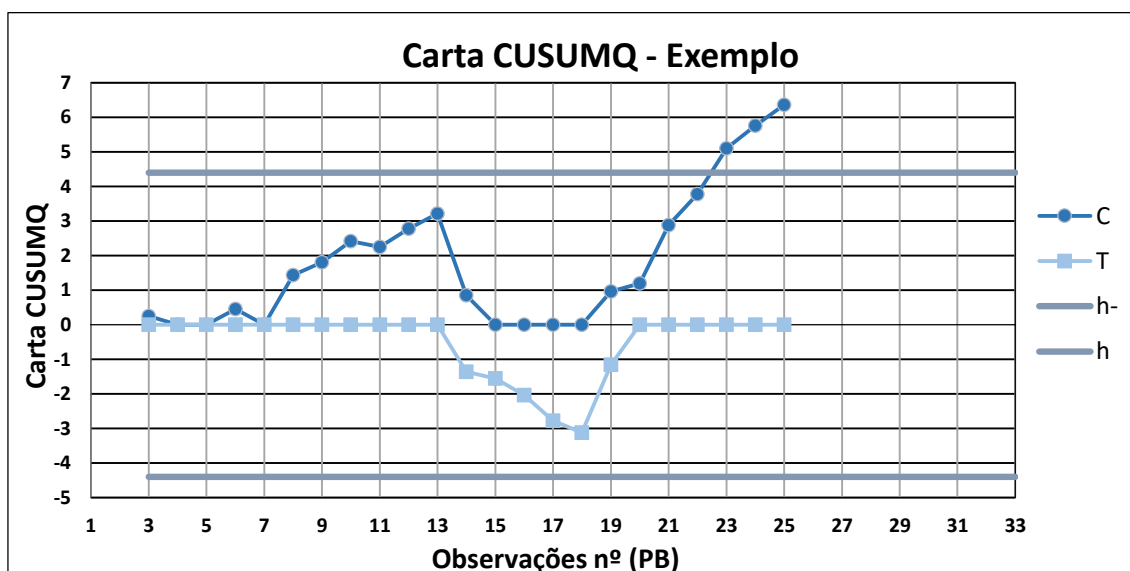


Figura 4. 10 – Exemplo da Carta CUSUMQ da PB.

Assim, a utilização das cartas de controlo permitiria ao gestor do projeto a possibilidade de prever antecipadamente a ocorrência de um consumo excessivo da PB, e desta forma aferir a necessidade, ou não, de desenvolver planos de contingência.

Por outro lado, se o projeto apresentar tendência de antecipação, isto é, risco positivo, as causas desse efeito também devem ser analisadas e exploradas, no entanto, a reprogramação do projeto não é recomendada, pois é espectável que nesta fase do projeto este já tenha sido contratado.

Quando as reservas estão na zona amarela, zona de prevenção, devem ser desenvolvidos planos de contingência para serem colocados em prática, caso se verifique a necessidade de atuar. Ao contrário da gestão clássica das reservas, que defende que nesta zona não existe necessidade de atuar, no modelo proposto, a utilização das cartas de controlo permite apoiar a tomada de decisão, considerando-

se que mesmo que as reservas estejam na zona amarela poderá existir a necessidade de implementar as medidas definidas nos planos de contingência.

Por sua vez, se a PB estiver na zona vermelha, é necessário atuar, aplicando-se as medidas definidas pelos planos de contingência, com vista à redução do consumo das reservas ou reprogramação da rede, de forma a mitigar o risco de derrapagem do projeto.

Para proceder à reprogramação é necessário retomar à primeira fase do modelo proposto.

Sempre que sejam implementadas alterações significativas no projeto, é necessário reiniciar as estatísticas das reservas, isto é, é necessário reconstruir as cartas de controlo.

4.4.2. RETIRAR “LIÇÕES APRENDIDAS” E ATUALIZAR PROCESSOS (F3.P2)

A atualização dos processos e as lições aprendidas deverão ser utilizadas em fases ou projetos futuros. Nesta etapa do projeto, dever-se-á incluir informações específicas sobre os riscos verificados, os planos de contingência desenvolvidos e aplicados, bem como as soluções técnicas encontradas.

Quando se verifica a tendência de derrapagem do prazo do projeto, os riscos associados deverão ser mitigados para níveis aceitáveis. Por outro lado, perante a tendência de ocorrência de antecipação, as condições do projeto que conduziram a esta situação também devem ser analisadas e exploradas.

Até que todas as atividades estejam concluídas e não havendo necessidade de reprogramar o projeto, é necessário continuar a proceder ao controlo, atualização e avaliação do projeto (segunda fase do modelo). Caso haja a necessidade de reprogramar o projeto, ter-se-á que retomar à primeira fase do modelo proposto, Planeamento e Programação do Projeto.

4.4.3. COMPILAR, DISTRIBUIR E ARQUIVAR DOCUMENTAÇÃO (F3.P3)

Quando todas as atividades do projeto estiverem concluídas, toda a documentação em geral e em particular a informação relativa à gestão das reservas deverá ser compilada, distribuída e arquivada de forma a poder ser consultada e utilizada sempre que necessária em projetos futuros.

4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente capítulo foi proposto e desenvolvido um modelo, para a gestão de riscos de derrapagem de prazos de projetos, que utiliza ferramentas clássicas da BM e cartas de controlo, no controlo de reservas na CCPM.

Este modelo, tal como será apresentado no capítulo seguinte, foi testado numa empreitada de reabilitação de edifícios, na Marinha Portuguesa, com o objetivo de se avaliar a aplicabilidade, as vantagens e as limitações da sua utilização. Pretendeu-se ainda aferir quais as cartas de controlo mais sensíveis na deteção de causas especiais de variação.

5. Implementação do Modelo Proposto: Caso de Estudo

5.1. OBJETIVOS E ENQUADRAMENTO DO ESTUDO

Neste capítulo pretende-se aplicar o modelo proposto para a implementação das cartas de controlo na gestão das reservas, com o objetivo de se aferir a sua aplicabilidade num caso em concreto e avaliar as suas potencialidades e limitações.

O caso de estudo que se irá descrever teve por base o projeto da segunda fase da remodelação do edifício principal da Direção de Navios (DN), na Marinha Portuguesa, por se considerar um projeto com uma duração ajustada ao desenvolvimento da presente dissertação.

Nas seções seguintes, efetuar-se-á uma breve apresentação do projeto, das suas características, da aplicação do modelo proposto e dos respetivos resultados obtidos.

Apresentação do Projeto

O edifício principal da DN é um edifício militar do tipo administrativo, com aproximadamente 40 anos, onde trabalham cerca de 200 pessoas, inserido na Base Naval de Lisboa. Este edifício é composto por três pisos, tendo uma área bruta de construção de cerca de 7 500m².

A segunda fase da empreitada da remodelação do edifício da DN, diz respeito sobretudo a trabalhos de remodelação das instalações sanitárias, tendo sido a área intervencionada de cerca de 400m². Durante a execução da empreitada, o edifício continuou a funcionar dentro da normalidade, tendo sido apenas interditadas as zonas intervencionadas. Ao longo do desenvolvimento do projeto e por se tratar da remodelação de um edifício militar, para além das especificidades habituais neste tipo de empreitada, tiveram que ser considerados outros requisitos e restrições específicas, nomeadamente em termos de segurança, acessibilidade, entre outros.

5.2. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.2.1. PLANEAMENTO E PROGRAMAÇÃO DO PROJETO (F1)

Estimar as Durações das Atividades (F1.P1)

As durações das atividades do projeto da segunda fase da remodelação do edifício DN, otimistas; alvo; e pessimistas, foram estimadas com base nas durações obtidas na primeira fase, na opinião dos especialistas e tendo em consideração as restrições dos recursos, dos equipamentos e dos materiais.

Tal como exposto na seção 2.3.2.1, as durações otimistas tendem a ter uma maior proximidade das durações alvo do que as durações pessimistas. É possível verificar esta assimetria na Figura 5. 1, em

que por exemplo, na remodelação dos vestiários dos sargentos masculinos, a duração otimista é de 22 dias, a duração alvo de 32 dias e duração pessimista de 61 dias.

ID Excluído ▼	Nome da Tarefa ▼	Duração Otimista ▼	Duração ▼	Duração Pessimista
7	▲ Remodelação dos Vestiários dos Sargentos Masculino	22 dias	32 dias	61 dias
8	Demolições_P1_VS	2 dias	3 dias	5 dias
9	▲ Arquitetura_P1_VS	20 dias	29 dias	56 dias
10	Alvenaria_P1_VS	1 dia	1 dia	2 dias
11	Rebocos Em Paredes_P1_VS	1 dia	2 dias	3 dias
12	Betonilhas_P1_VS	1 dia	2 dias	4 dias
13	Revestimento Pavimento_P1_VS	2 dias	4 dias	5 dias
14	Revestimentos de Paredes_P1_VS	4 dias	6 dias	9 dias
15	Impermeabilizações_P1_VS	1 dia	2 dias	3 dias
16	▲ Pintura_P1_VS	4 dias	5 dias	8 dias
17	Pintura WC_P1_VS	2 dias	2 dias	4 dias
18	Pintura Vestiário_P1_VS	2 dias	3 dias	4 dias
19	Tecto Falso_P1_VS	2 dias	3 dias	5 dias
20	Carpintarias_P1_VS	2 dias	3 dias	4 dias
21	Fenólicos_P1_VS	2 dias	3 dias	4 dias
22	Vidros_P1_VS	1 dia	2 dias	3 dias
23	Loiça sanitária_P1_VS	1 dia	2 dias	2 dias
24	▲ Rede de Água e Esgotos_P1_VS	4 dias	6 dias	10 dias
25	Rede de Abastecimento_P1_VS	2 dias	3 dias	5 dias
26	Rede de Esgotos_P1_VS	2 dias	3 dias	5 dias

Figura 5. 1 – Duração das Atividades do Projeto.

Definir a Rede e Calendarizar o Projeto (F1.P2)

A calendarização do projeto foi criada com base no programa estabelecido para a primeira fase, procedendo-se no entanto a alterações quer ao nível de relações técnicas, quer ao nível de interligações referentes à dependência de recursos. Salienta-se que a primeira fase da empreitada foi programada de acordo com método tradicional do Caminho Crítico (CPM), segundo uma lógica ASAP.

O processo de construção da rede do projeto foi dividido em duas fases, a primeira fase de criação e a segunda de verificação. As atividades foram programadas segundo uma lógica direta, isto é, das atividades iniciais para as atividades finais do projeto, assegurando-se que o projeto tinha apenas uma atividade final.

Nesta fase, foram determinados e registados os requisitos e os pressupostos considerados, nomeadamente os recursos alocados na execução de cada atividade, para que nas fases posteriores estes pressupostos pudessem ser consultados e se necessário ajustados.

Na segunda fase deste processo, a fase de verificação, foram validadas todas as interligações relevantes identificadas e definiram-se ligações de precedências entre atividades que não tinham sido detetadas na primeira fase do processo de construção da rede. Estas ligações de precedência incidiram, essencialmente, entre as atividades que eram executadas pelos mesmos recursos, mas que por

não terem dependência técnica não lhes tinha sido atribuído ligações de precedência, como foi o caso, por exemplo, dos trabalhos de instalações mecânicas e instalações elétricas.

O processo de criação da rede do projeto efetuou-se com recurso ao MS Project.

Resolver os Conflitos de Recursos (F1.P3)

Para a resolução de conflitos não se aplicou nenhum algoritmo específico, introduziram-se sim ligações de precedência de forma a respeitar as limitações dos recursos disponíveis.

Identificar a Cadeia Crítica (F1.P3)

A cadeia crítica corresponde à sequência mais longa de atividades, sendo estas atividades designadas por atividades críticas. As ligações de precedências introduzidas, devido à limitação de recursos, tiveram um papel preponderante na obtenção da cadeia crítica.

Dimensionamento e Inserção das Reservas (F1.P5)

De acordo com a seção 4.2.5, no modelo proposto, o dimensionamento e inserção das reservas é constituído por três etapas.

A primeira etapa consistiu em inserir reservas nulas, uma PB e cinco FB's, e calendarizá-las no projeto, com recurso ao ProChain, tal como representado, no exerto, na Figura 5. 2.

ID ▼	Nome da Tarefa ▼	Duraçã ▼	Início ▼	Conclusão ▼
46	Demolições_P2_VP	2 dias	Seg 06/04/15	Ter 07/04/15
47	▲ Arquitetura_P2_VP	30 dias	Qua 08/04/15	Qua 20/05/15
48	Alvenaria_P2_VP	1 dia	Qua 08/04/15	Qua 08/04/15
49	Rebocos Em Paredes_P2_VP	1 dia	Qui 09/04/15	Qui 09/04/15
50	Betonilhas_P2_VP	1 dia	Sex 17/04/15	Sex 17/04/15
51	FB1	6 dias	Seg 20/04/15	Seg 27/04/15
52	Revestimento Pavimento_P2_VP	2 dias	Qua 29/04/15	Qui 30/04/15
53	Revestimentos de Paredes_P2_VP	4 dias	Seg 04/05/15	Qui 07/05/15
54	Impermeabilizações_P2_VP	2 dias	Sex 10/04/15	Seg 13/04/15
55	Pintura_P2_VP	4 dias	Ter 12/05/15	Sex 15/05/15
56	FB2	3 dias	Seg 18/05/15	Qua 20/05/15
57	Carpintarias_P2_VP	2 dias	Sex 08/05/15	Seg 11/05/15
58	Fenólicos_P2_VP	2 dias	Sex 08/05/15	Seg 11/05/15
59	Vidros_P2_VP	1 dia	Sex 08/05/15	Sex 08/05/15
60	Loiça sanitária_P2_VP	2 dias	Sex 08/05/15	Seg 11/05/15
61	▷ Rede de Água e Esgotos_P2_VP	16 dias	Ter 14/04/15	Qua 06/05/15
68	▲ Remodelação do WC Masculino e WC Femininos	34 dias	Qua 01/04/15	Qua 20/05/15
69	Demolições_P2_WC	2 dias	Qua 01/04/15	Qui 02/04/15
70	▲ Arquitetura_P2_WC	27 dias	Seg 13/04/15	Qua 20/05/15
71	Revestimento Pavimento_P2_WC	4 dias	Seg 13/04/15	Qui 16/04/15
72	Revestimentos de Paredes_P2_WC	8 dias	Sex 17/04/15	Ter 28/04/15
73	Pintura_P2_WC	4 dias	Seg 04/05/15	Qui 07/05/15

Figura 5. 2 – Inserção das Reservas com Recurso ao ProChain.

Por sua vez, a segunda etapa, consistiu em dimensionar as reservas pelo método SMC, com auxílio do @RISK. Dada a falta de outras informações, foram consideradas distribuições Triangulares, com a exceção de 2 atividades, a montagem e a desmontagem do estaleiro, em que foram consideradas distribuições uniformes.

Com o auxílio @RISK, foi ainda possível verificar quais as atividades que mais contribuem para a variabilidade do projeto, tal como apresentado na Figura 5. 3.

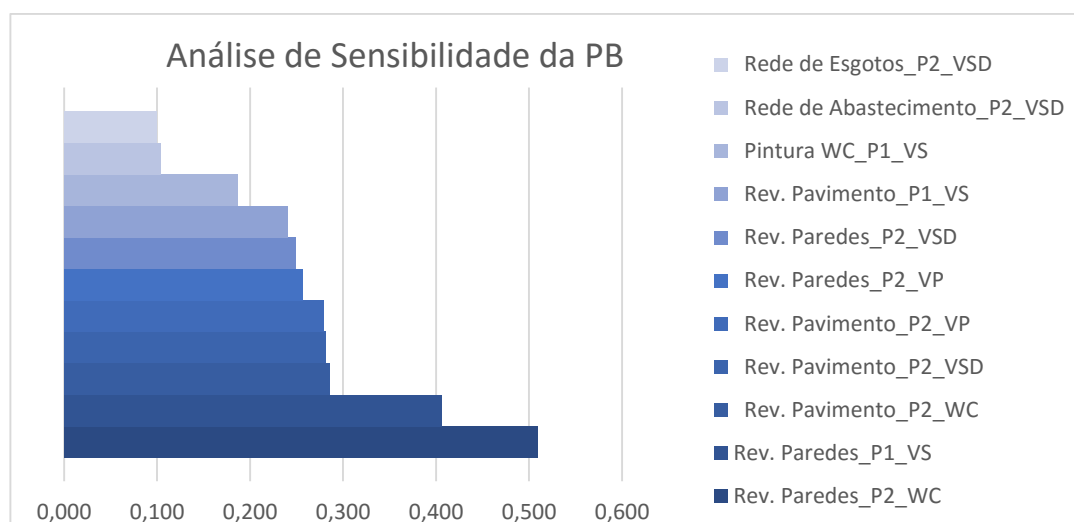


Figura 5. 3 – Distribuição da Criticidade das Atividades do Projeto.

Como seria de esperar, as atividades que mais contribuem para a criticidade do projeto foram as atividades que pertencem à CC.

Na última fase deste processo, as reservas temporais foram dimensionadas de acordo com o método SMC, apresentado na seção 2.3.3.1. Neste projeto, foram introduzidas cinco reservas de alimentação e uma reserva de projeto, tal como sintetizado na Tabela 5. 1.

Tabela 5. 1 – Dimensão das Reservas.

Reserva	Dimensão Simulada (Dias)	Dimensão Calendarizada (Dias)
PB	15	15
FB1	6	6
FB2	7	3
FB3	9	9
FB4	2	1
FB5	4	2

Por não se aceitarem quebras na CC, as dimensões da FB2, FB4 e a FB5 foram parcialmente reduzidas, assumindo-se o aumento do risco de impacto na CC e de consumos adicionais na PB, controlados pelo I_{CR} .

Aprovar o Plano de Trabalhos (F1.P6)

A primeira fase do modelo terminou com a aprovação do plano de trabalhos, pelo dono de obra, pela equipa de fiscalização e pelo empreiteiro. Este plano serviu de base à execução, ao controlo, à avaliação e à gestão do projeto.

A Figura 5. 4 ilustra um extrato do plano base do projeto da segunda fase da empreitada da remodelação do edifício da DN.

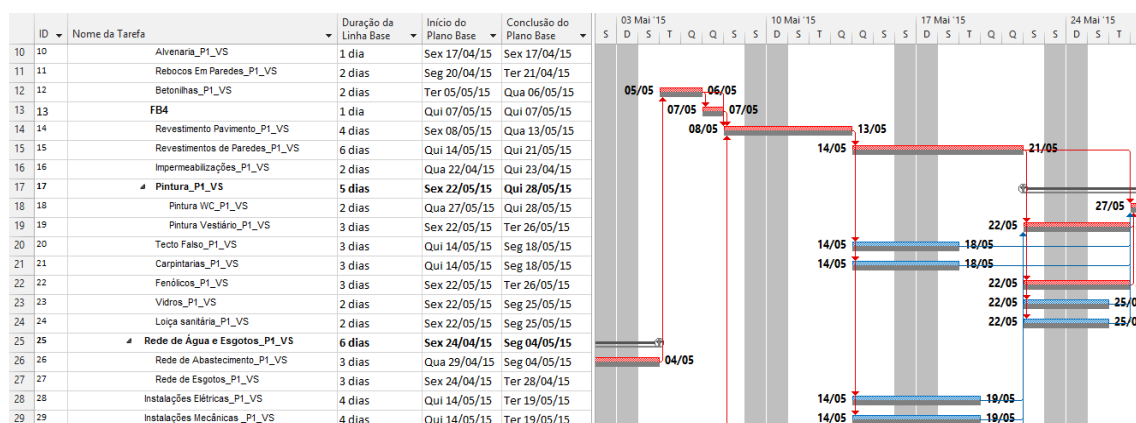


Figura 5. 4 – Extrato do Plano Base do Projeto.

O plano base completo deste projeto encontra-se no Anexo IV.

5.2.2. CONTROLO E AVALIAÇÃO DO PROJETO (F2)

Controlar e Atualizar o Programa de Trabalhos (F2.P1)

De acordo com o modelo proposto, o período entre atualizações do programa de trabalhos deve ser inferior a 1/3 da dimensão da PB e não deve ser superior a 1/30 da duração do projeto. Apesar de o projeto ter uma duração de 60 dias e uma PB de 15 dias, o que daria um período entre atualizações de 2 dias, optou-se por se efetuar o controlo diariamente.

A Figura 5. 5 ilustra um exemplo do processo de atualização do plano de trabalhos com recurso ao MS Project.

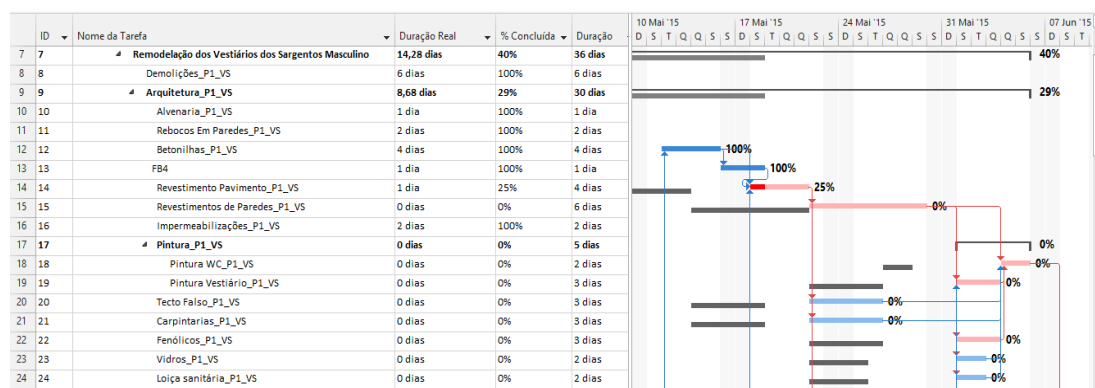


Figura 5. 5 – Exemplo da Atualização do Plano de Trabalhos no MS Project.

Com auxílio do MS Project é possível verificar a percentagem do projeto e as tarefas que já se encontram concluídas na data da atualização.

Avaliar o Plano de Trabalhos (F2.P2)

Com a aplicação das Cartas Q (X) e Cartas Q (MR), pretendeu-se avaliar se o processo está sob controlo estatístico, detetar a existência de padrões não aleatórios e verificar a existência de causas especiais de variação. Por sua vez, com a aplicação das cartas CUSUMQ e EWMAQ pretendeu-se detetar uma alteração de pelo menos um σ do consumo médio diário das reservas.

Considerando-se um nível de significância de $\alpha = 0,27\%$, ou seja, $ARL = 370$ (equação (3. 4)) e $\Delta=1\sigma$ obtém-se $\delta=1$ (equação (3. 23)).

Para as cartas CUSUMQ, obteve-se assim, $k=0,5$ (equação (3. 24)) e de acordo com Figura I. 1 do Anexo I obteve-se $h=4,40$. Nas cartas EWMAQ, de acordo com a Figura II. 1 e Figura II. 2 do Anexo II, obtiveram-se os valores de $\lambda=0,15$ e $K=2,8$.

As linhas centrais e os limites de controlo foram calculados para as cartas Q (X) e cartas Q (MR) de acordo com as equações (3. 17) e (3. 18), através da equação (3. 25) e (3. 26) para as cartas CUSUMQ e de acordo com a equação (3. 28) para as cartas EWMAQ. Obtiveram-se assim, para as diferentes cartas, os seguintes limites de controlo, resumidos na Tabela 5. 2.

Tabela 5. 2 – Limites de Controlo.

Reserva	LIC	LC	LSC
Cartas Q (X)	-3	0	3
Carta Q (MR)	-3	0	3
Carta CUSUMQ	-4,40	0	4,40
Carta EWMAQ	-1,18	0	1,18

Tal como apresentado na seção anterior, o projeto é constituído por uma reserva de projeto e cinco reservas de alimentação, no entanto, não se efetuou o controlo com recurso às cartas de controlo da FB4 e FB5, dada a sua reduzida dimensão.

Da análise da evolução do consumo da PB, representado pela Figura 5. 6, verifica-se que a partir da 18ª observação a reserva encontra-se na zona amarela. No que diz respeito ao indicador do consumo real da reserva (I_{CR}), este manteve-se inferior à unidade ao longo de todo o projeto, o que significa que o consumo real da PB nunca foi superior ao consumo expetável.

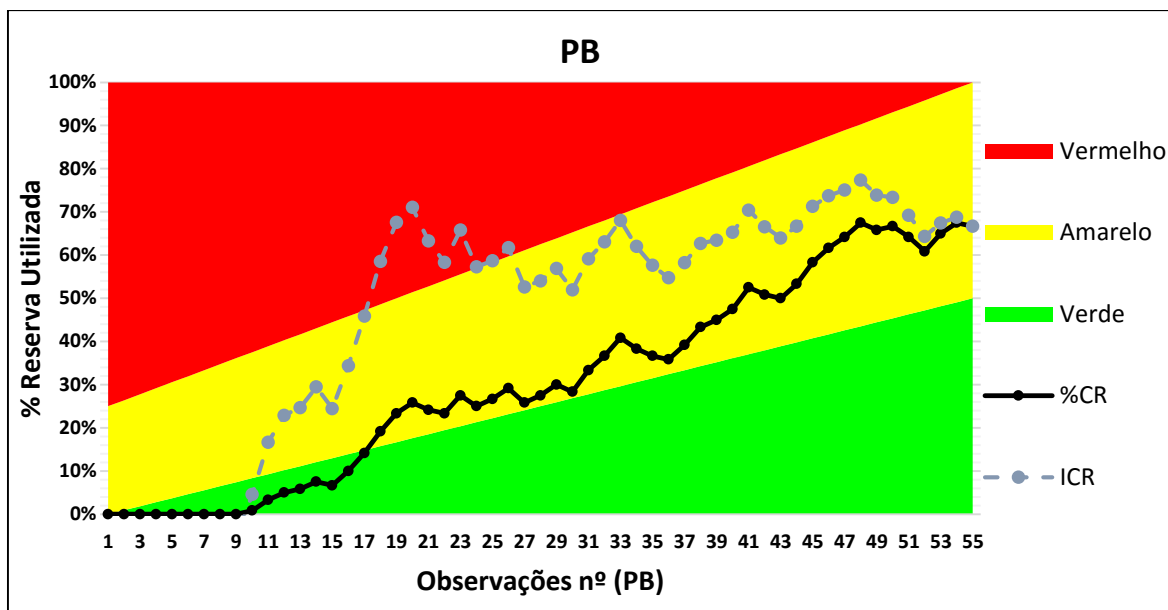


Figura 5. 6 – Gráfico do Consumo da PB.

Da análise da carta Q (X) e Carta Q (MR) da PB, ilustrada na Figura 5. 7 e Figura 5. 8, é possível verificar que todos os pontos se encontram dentro do intervalo definido pelos limites de controlo. No entanto, o processo não se encontra sob controlo estatístico, pois existem padrões não aleatórios na carta Q (X). Nesta carta, ocorrem entre o ponto nº 16 e nº 20, quatro de cinco pontos consecutivos na zona B do mesmo lado da linha central (Regra 6).

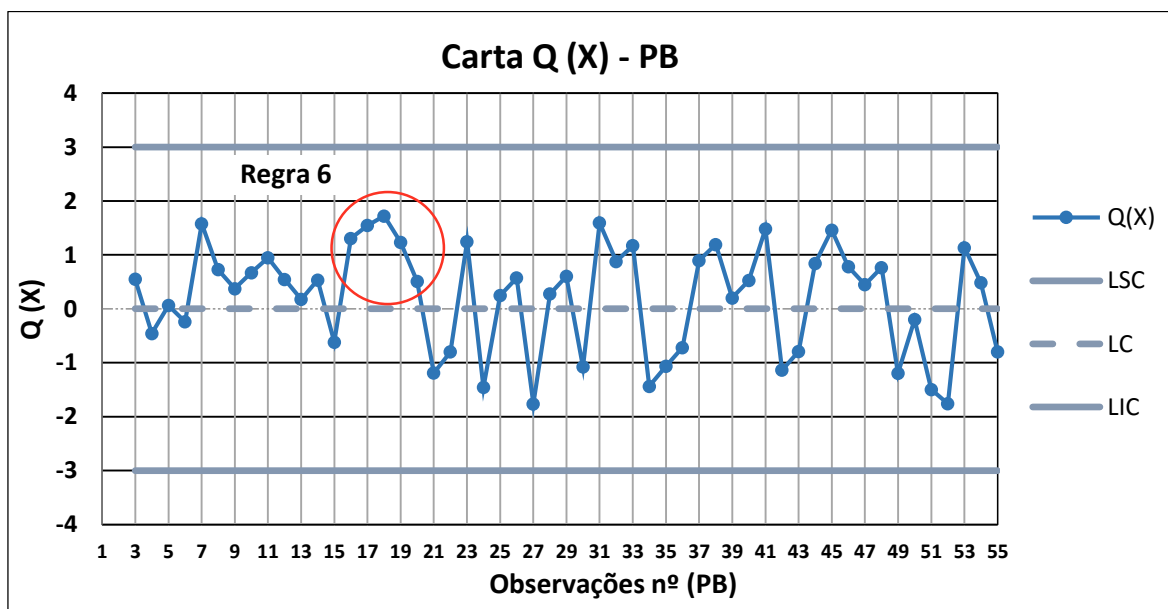


Figura 5. 7 – Carta Q (X) da PB.

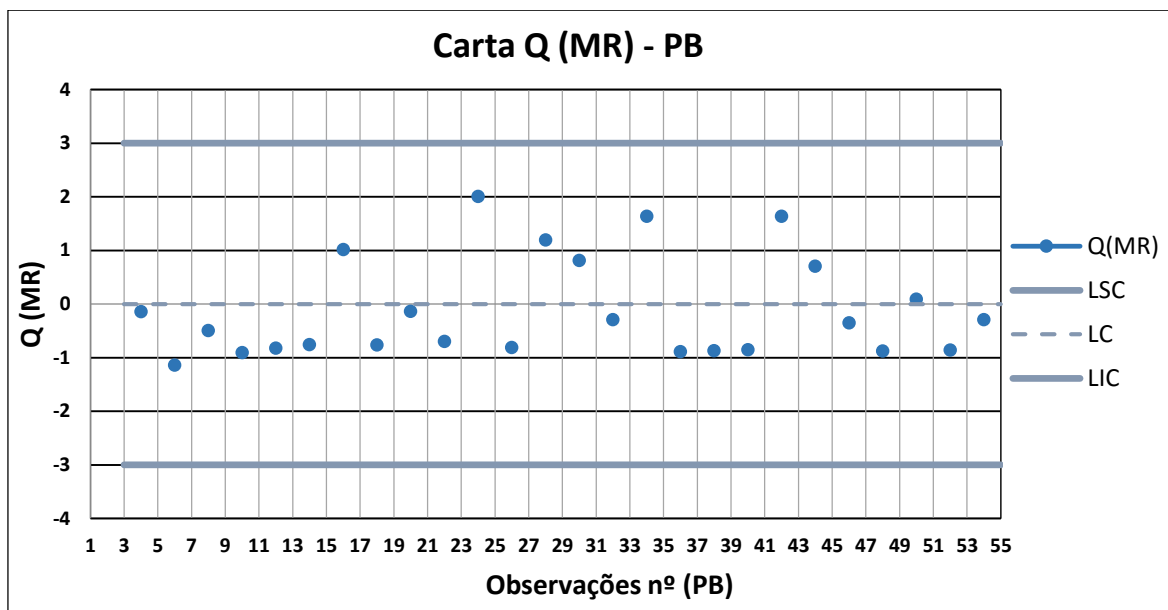


Figura 5. 8 – Carta Q (MR) da PB.

Da análise da carta CUSUMQ não se deteta nenhum aumento nem diminuição significativa da média do consumo diário da PB, no entanto, existem dois instantes, o 19 e o 20, cujos valores se encontram muito próximos dos limites, tal como ilustrado na Figura 5. 9.

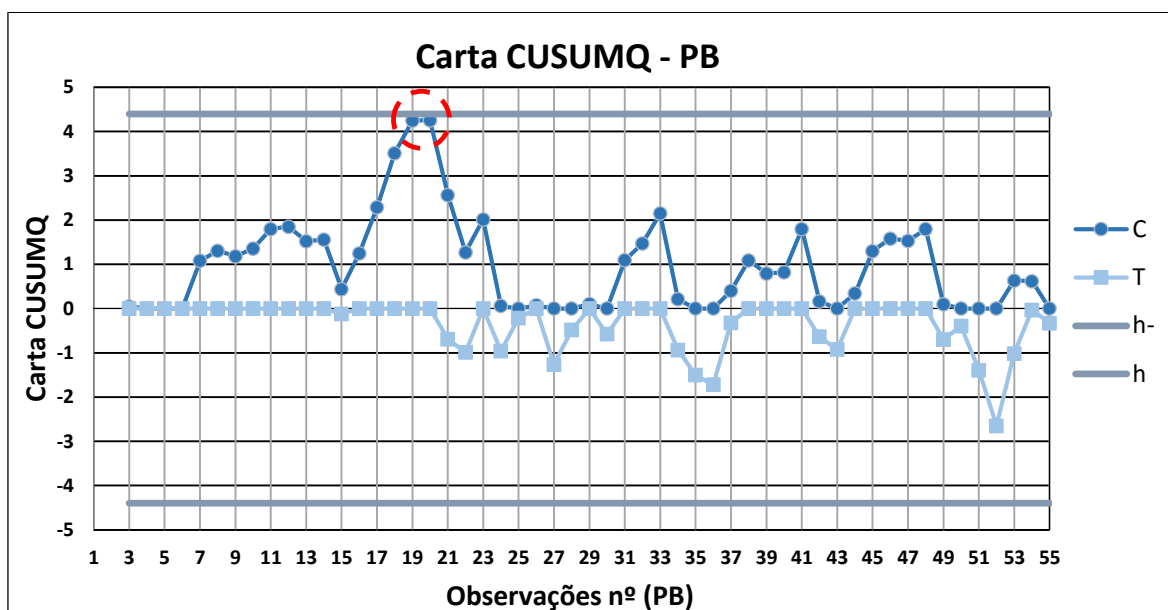


Figura 5. 9 – Carta CUSUMQ da PB.

A análise das Cartas Q (X), Q (MR), CUSUMQ e EWMAQ da FB1, revela que a evolução dos consumos desta reserva se encontra sob controlo estatístico, tendo apresentado um consumo final de 3 dias, o equivalente a 50% da dimensão da FB1.

Da análise da evolução da FB2, tal como apresentado na Figura 5. 10, é possível verificar que entre a observação nº 10 e a nº 13 ocorreu um aumento significativo no consumo da FB2, verificando-se

no entanto a recuperação deste aumento a partir da observação nº 14. A partir da observação nº 23 verificou-se um novo aumento, tendo sido a FB2 consumida na totalidade a partir do instante 31º.

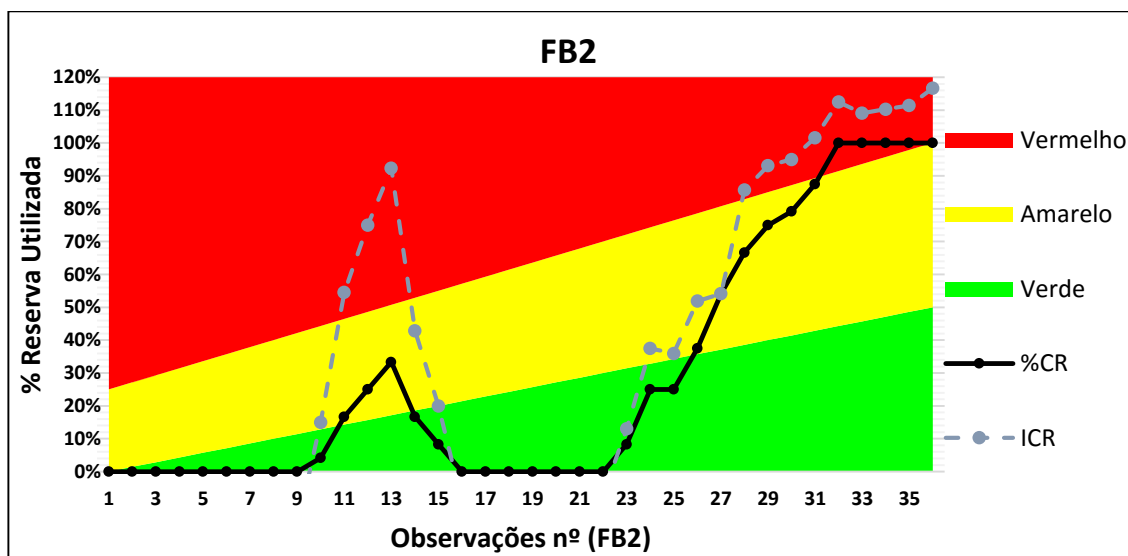


Figura 5. 10 – Gráfico do Consumo da FB2.

Da análise da carta Q (X) da FB3, ilustrada na Figura 5. 11, é possível verificar que todos os pontos se encontram dentro do intervalo definido pelos limites de controlo. No entanto, ocorrem entre o ponto nº 19 e nº 27, nove pontos consecutivos para além da zona C do mesmo lado da linha central (Regra 2), e entre o ponto nº 20 e nº 24, quatro de cinco pontos consecutivos na zona B do mesmo lado da linha central (Regra 6), logo o processo não se encontra sob controlo estatístico, pois existem padrões não aleatórios.

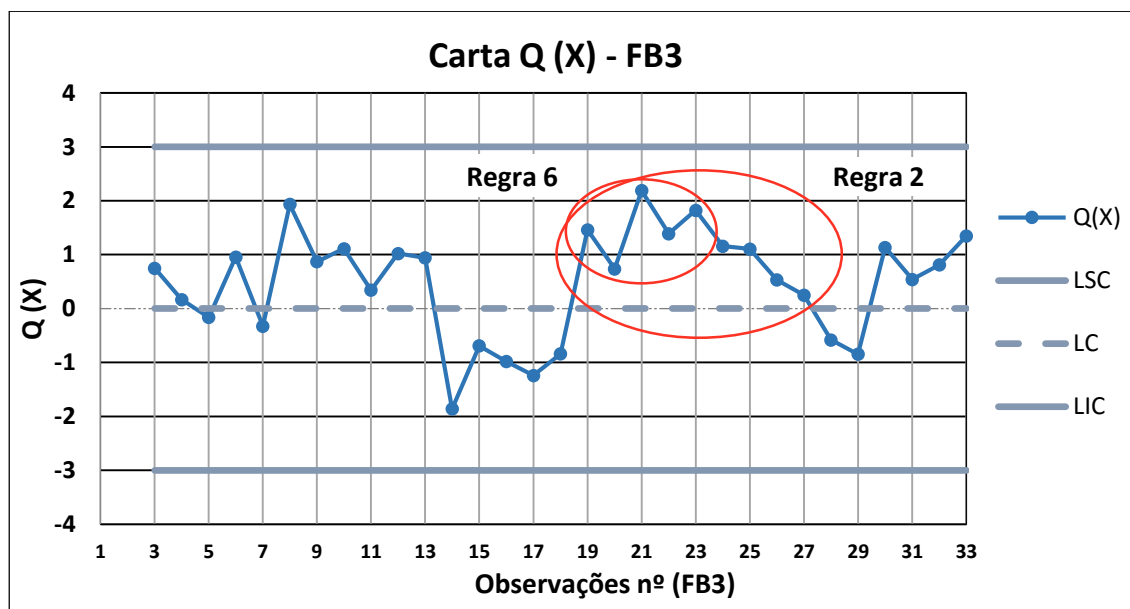


Figura 5. 11 – Carta Q (X) da FB3.

Apesar da detecção de padrões não aleatórios na Carta Q (X), no gráfico do consumo da FB3 não se verificou qualquer sinal de excesso de reserva consumida, permanecendo o consumo da FB3 praticamente sempre na zona verde, tal como representado na Figura 5. 12.

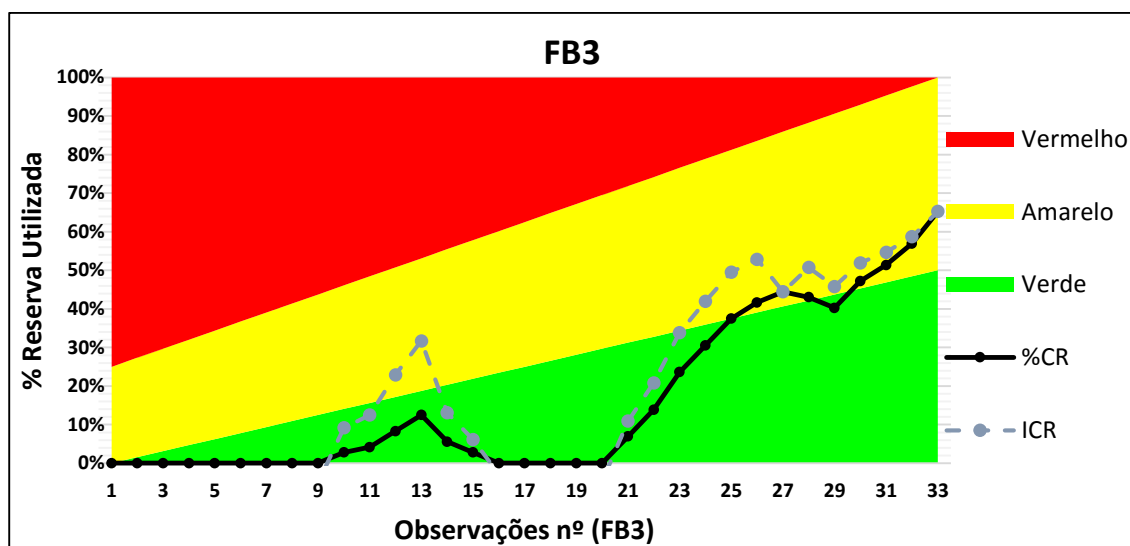


Figura 5. 12 – Gráfico do Consumo da FB3.

Na carta CUSUMQ da FB3, Figura 5. 13, verifica-se que $C_{23} > h$, o que permite detetar a ocorrência, a partir deste ponto, de um acréscimo de pelo menos um σ da média do consumo diário da FB3.

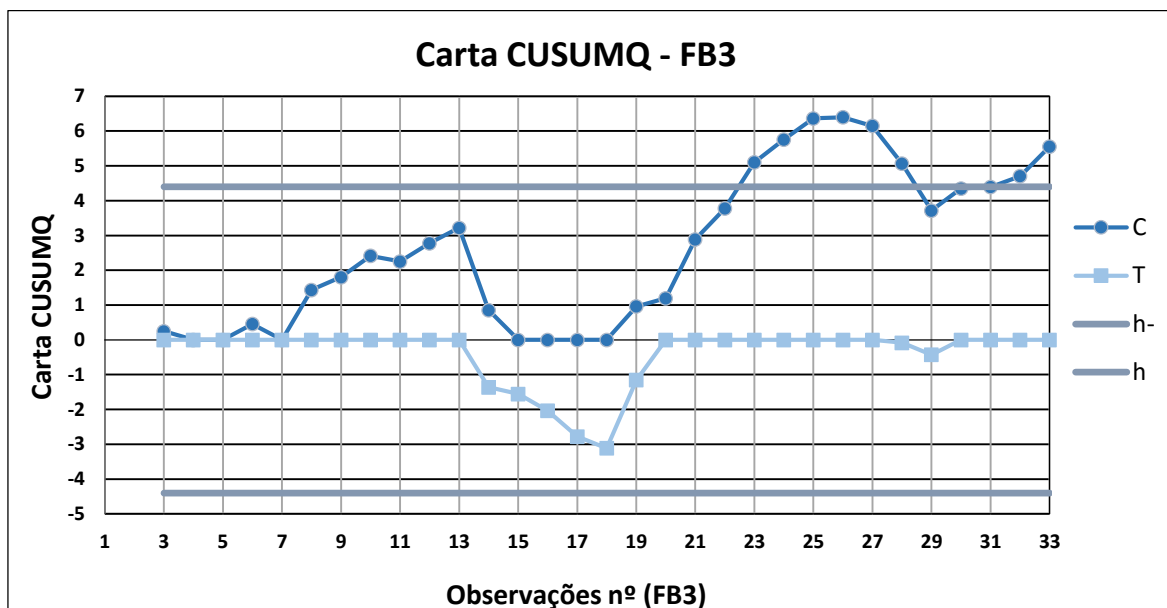


Figura 5. 13 – Carta CUSUMQ da FB3.

Na carta EWMAQ, Figura 5. 14, não foi detetado nenhum aumento nem diminuição significativa da média do consumo diário da FB3.

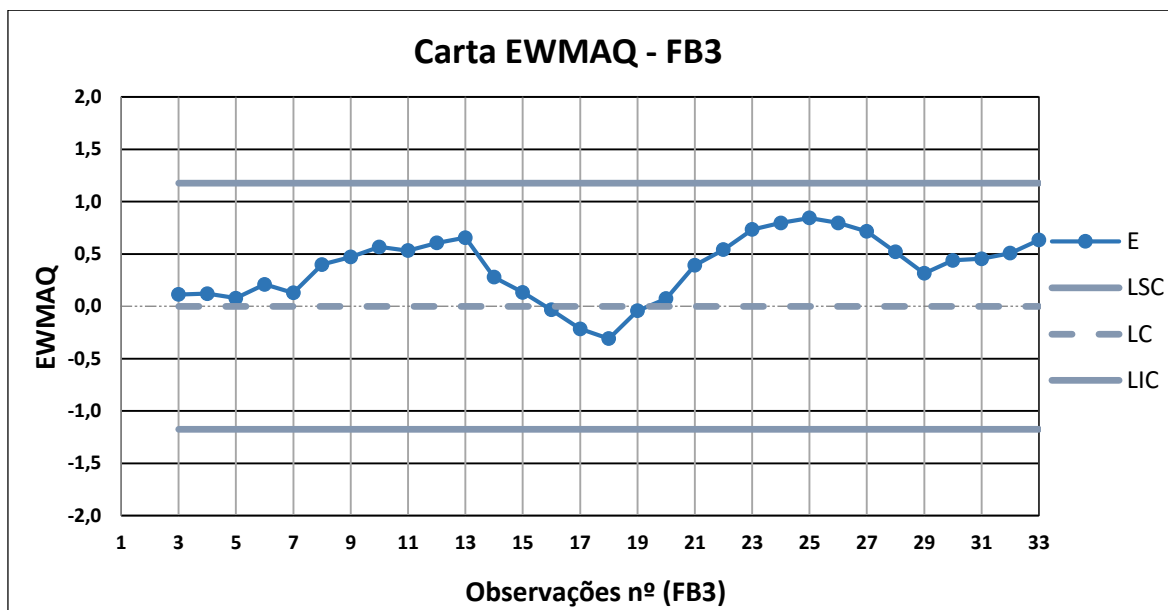


Figura 5. 14 – Carta EWMAQ da FB3.

O consumo final da FB3 foi de cerca de 65% da dimensão da reserva.

Para além das cartas de controlo analisadas, todas as outras cartas utilizadas na gestão das reservas, bem como os respetivos cálculos, encontram-se no Anexo III.

5.2.3. GESTÃO DO PROJETO (F3)

Com a implementação do modelo proposto na empreitada da segunda fase da remodelação do edifício da DN, foi possível concluir o projeto dentro do prazo contratualizado.

Na Tabela 5. 3, estão sintetizadas as dimensões das reservas consideradas (DR), os consumos finais (C_R) e as respetivas percentagens das reservas consumidas (C_R/DR).

Tabela 5. 3 – Dimensão e Consumo das Reservas.

Reserva	DR (Dias)	CR (Dias)	CR/DR (%)
PB	15	10	67
FB1	6	3	50
FB2	3	3	100
FB3	9	6	65

Da análise da tabela anterior, é possível verificar que as dimensões das reservas consideradas foram ajustadas para proteger o projeto e as respetivas cadeias não críticas.

Da informação obtida através carta Q (X) da PB, Figura 5. 7, foi possível detetar a existência de pelo menos uma causa especial de variação entre a observação nº 16 e nº 20. No entanto, e apesar do acompanhamento contínuo da reserva, não foi necessário implementar medidas contingência, uma

vez que a reserva permaneceu na zona amarela até ao final do projeto, tendo sido o consumo final da PB de 10 dias, cerca de 67% da dimensão da reserva.

Os trabalhos pertencentes à cadeia crítica no período acima referido, foram trabalhos de demolições que tiveram uma duração superior ao espectável de 3 dias. O aumento da duração desta tarefa foi causado por restrições que não tinham sido inicialmente consideradas no projeto. Neste caso em concreto, os trabalhos de demolição tiveram que ser interrompidos durante algumas reuniões que estavam a decorrer no edifício, devido ao ruído. As medidas de contingência previstas para este caso em concreto, passariam pelo desfasamento dos trabalhos de maior ruído do normal funcionamento do edifício, nomeadamente nas primeiras horas da manhã e as últimas horas da tarde. Caso estas medidas não fossem suficientes, optar-se-ia pelo reforço da equipa de demolições e pela execução destes trabalhos também nos dias não úteis.

O consumo final da reserva do projeto respeita simultaneamente as duas premissas do dimensionamento eficaz das reservas, apresentadas na seção 2.3.3.1. Estas premissas são: O valor dimensionado não é ultrapassado no final do projeto e a percentagem do consumo da reserva temporal no final do projeto é superior a 60%.

A FB2 foi a única reserva consumida na totalidade, uma vez que a dimensão desta reserva tinha sido reduzida na fase do planeamento e programação do projeto, por não se aceitar quebras na cadeia crítica. O aumento do consumo da FB2 entre o instante nº 10 e nº 13 foi devido à utilização da equipa de ladrilhadores numa tarefa não prevista no projeto, não tendo sido necessário implementar medidas de contingência. As medidas de contingência previstas passariam pelo reforço da equipa de ladrilhadores e pela execução destes trabalhos também nos dias não úteis.

Da análise da FB3, foi possível verificar que a implementação das cartas de controlo na gestão das reservas permitiu uma maior sensibilidade na deteção da tendência de consumo excessivo da reserva. As Cartas CUSUMQ revelaram-se mais eficazes que as cartas EWMAQ, na deteção de aumentos significativos da média dos consumos das reservas.

Por fim, a documentação em geral do projeto e em particular a documentação relativa ao modelo proposto foi compilada, arquivada e distribuída, com vista à sua utilização em projetos futuros.

6. Principais Conclusões e Futuros Desenvolvimentos

6.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES E CONTRIBUIÇÕES DO ESTUDO

6.1.1. ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

Uma parte importante deste trabalho compreendeu a pesquisa, análise e sistematização de informação relativamente à gestão de riscos em geral e em particular à gestão do tempo em projetos, salientando a CCPM. Desta análise evidenciam-se as seguintes conclusões:

- A gestão de riscos é um elemento central na gestão estratégica de qualquer projeto. Apesar de não existir uma estrutura padronizada transversal a todas as organizações, o aparecimento de metodologias estruturadas, nomeadamente as sugeridas pelo PMI (2012) e pela ISO 31000 (2009), originou um avanço significativo na gestão de riscos;
- A TOC defende que os resultados dos projetos e das organizações não devem ser encarados como a soma isolada das partes, mas sim como o resultado global do sistema integrado. A TOC defende ainda, que para melhorar o desempenho de um sistema, é crucial a identificação das suas principais restrições;
- A CCPM adapta e aplica os princípios da TOC à gestão de projetos. Esta metodologia, visa gerir de uma forma eficaz o tempo dos projetos, para que estes sejam concluídos dentro dos prazos estabelecidos, reduzindo assim o risco de derrapagem dos mesmos;
- O dimensionamento das reservas é um processo extremamente importante, por um lado, reservas demasiado elevadas adicionam custos e tornam os projetos menos competitivos, por outro lado, reservas demasiado reduzidas podem resultar em atrasos na entrega dos projetos;
- Uma das maiores inovações da CCPM é o método de monitorização da execução dos projetos, sendo a gestão de reservas temporais o principal mecanismo de controlo;
- Existem diferentes formas para controlar o consumo das reservas, destacando-se o gráfico das reservas em função do tempo, a relação entre o tempo consumido em função da percentagem da cadeia crítica executada e análise da reserva necessária para o trabalho remanescente;
- As cartas de controlo começaram a ser aplicadas em processos industriais, tendo hoje aplicabilidade no controlo estatístico de outros tipos de processos. Não tendo sido, no entanto, identificadas aplicações no âmbito da gestão de reservas temporais em projetos.

6.1.2. MODELO PROPOSTO E CASO DE ESTUDO

Com o modelo proposto e a sua aplicação num caso de estudo, destacam-se as seguintes conclusões:

- A utilização das cartas de controlo na BM permite verificar se o processo está sob controlo estatístico, detetar causas especiais de variação e detetar ainda aumentos ou diminuições significativas no consumo das reservas. Permite ainda, ao gestor do projeto, a possibilidade de prever antecipadamente a ocorrência de um consumo excessivo das reservas, comparativamente com a gestão clássica das mesmas;
- Quando se verifica a tendência de derrapagem de prazos dos projetos, os riscos associados deverão ser mitigados para níveis aceitáveis. Por outro lado, perante a tendência de ocorrência de antecipações, as condições dos projetos que conduziram a esta situação também devem ser analisadas e exploradas, no entanto, a reprogramação dos projetos pode não ser recomendada, dependendo do tipo de contrato associado aos mesmos;
- Até que todas as atividades estejam concluídas, e não havendo necessidade de reprogramar, é necessário proceder ao controlo, atualização e avaliação do projeto. Caso haja a necessidade de reprogramar o projeto, ter-se-á que retomar à primeira fase do modelo proposto, Planeamento e Programação do Projeto;
- Sempre que sejam implementadas alterações significativas nos projetos é necessário reiniciar as variáveis dos processos, isto é, é necessário reconstruir as cartas de controlo;
- Com a implementação do modelo proposto, no caso de estudo, foi possível concluir o projeto dentro do prazo contratualizado;
- Em reservas temporais de pequenas dimensões pode não ser possível a aplicação de cartas de controlo a essas reservas, tal como sucedido na FB4 e na FB5.
- As cartas CUSUMQ revelaram-se mais eficazes que as cartas EWMAQ, na deteção de aumentos significativos da média dos consumos das reservas;
- Da análise das reservas em geral, do caso de estudo, e em particular da FB3, foi possível verificar, que a implementação das cartas de controlo na BM permitiu aumentar a sensibilidade na deteção de tendência de consumos excessivos das reservas.

6.2. FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

Na presente dissertação as principais dificuldades prenderam-se com a sua limitação temporal, não tendo sido possível aplicar o modelo proposto a outros casos de estudo. Apesar de se considerar que foram atingidos os objetivos definidos para este trabalho, existe um campo muito vasto de assuntos que podem ser desenvolvidos. Como trabalhos futuros considera-se que seria interessante:

- Aplicar o modelo proposto a outros projetos, preferencialmente projetos de diferentes áreas;
- Adaptar o modelo proposto para a gestão de múltiplos projetos, programas e portefólios;
- Desenvolver metodologias que integrem na CCPM a gestão de custos.

Referências Bibliográficas

Agostinho, I. (2011). *Aplicação do Controlo Estatístico do Processo numa Indústria de Derivados de Tomate*. (Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial), FCT/UNL, Lisboa. [Disponível em <http://run.unl.pt/handle/10362/6136>]

Cruz, A. (2013). *Utilização de cartas de controlo para monitorização em tempo real da qualidade da água numa rede de distribuição*. (Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial), FCT/UNL, Lisboa. [Disponível em <http://run.unl.pt/handle/10362/11036>]

Courinha, E. (2010). *Estudo Exploratório da Calendarização de Múltiplos Projetos pela Cadeia Crítica*. (Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial), FCT/UNL, Lisboa.

Estrela, M. (2008). *Metodologia de Análise e Controlo de Risco dos Prazos em Projeto de Construção*. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil), IST/UTL, Lisboa.

Fortunato, T (2013). *Modelo de Gestão de Risco em Obras de Escavação de Túneis em Rocha*. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil), IST/UTL, Lisboa.

Goldratt, E. M. (1997). *Critical Chain* (1ª Ed.). Great Barrington, USA: North River Press.

Hoel, K., & Taylor, S. G. (1999). *Quantifying Buffers for Project Schedules*. *Production and Inventory Management Journal*, 40, 43-47.

International Organization for Standardization (ISO). (2009). *ISO 31000 - Risk Management*. ISO, Suíça: International Organization for Standardization.

International Organization for Standardization (ISO). (2013). *ISO 7870-2 (2013) - Control Charts*. ISO, Suíça: International Organization for Standardization.

Kirilenko, A. & Lo, Andrew (2013). *Moore's Law versus Murphy's Law: Algorithmic Trading and Its Discontents*. *Journal of Economic Perspectives*, 27, 51-72.

Leach, L. (2005). *Critical Chain Project Management* (2ª Ed.). Norwood, USA: Artech House.

Machado, J. (2010). *Implementação do Controlo Estatístico do Processo na Sociedade Central de Cervejas, S. A.* (Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial), FCT/UNL, Lisboa. [Disponível em <http://run.unl.pt/handle/10362/5028>]

Montgomery, D. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control*, 6ª Edição. New York: Wiley & Sons.

Newbold, R. C. (1998). *Project Management in the Fast Lane - Applying the Theory of Constraints*. Boca Raton, USA: The St. Lucie Press.

Oakland, J. (2003). *Statistical Process Control*, 6ª Edição. Oxford: Butterworth-Heinemann.

- Parkinson, C. (1958). *Parkinson's Law: The Pursuit of Progress*. London, UK: John Murray.
- Pereira, Z. & Requeijo, J. (2012). *Planeamento e Controlo Estatístico de Processos*, 2ª Edição. FCT/UNL, Lisboa.
- ProChain. (2014). *ProChain® Solutions*, 11ª Edição. ProChain, EUA.
- PMI (2012). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide)* 5ª Edição. Project Management Institute, Newtown Square, PA, EUA.
- PMI (2013). *Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (PMBOK® guide)*, 5ª Edição. Project Management Institute, Newtown Square, PA, EUA.
- Schwindt, C. (2015). *Handbook on Project Management and Scheduling*, Volume 2. Springer, EUA.
- Quintaneiro, S. (2014). *Uma perspetiva Lean Seis Sigma na Melhoria Contínua de um Sistema Logístico de Produção*. (Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial), FCT/UNL, Lisboa. [Disponível em <http://run.unl.pt/handle/10362/5028>]
- Roxo, J. (2012). *Análise de Risco em Empreendimentos de Construção Civil. Do Conceito à Prática. Dificuldades e Limitações Contratuais*. Risco, Segurança e Sustentabilidade, C. Guedes Soares, A. P. Teixeira e C. Jacinto, Edições Salamanca, Lisboa 2012, pp. 841 a 854.
- Salgado, J. (2012). *Aplicação do Controlo Estatístico do Processo numa Indústria Panificadora*. (Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial), FCT/UNL, Lisboa. [Disponível em <http://run.unl.pt/handle/10362/8464>]
- Silva, V. (2012). *Análise de Risco na Construção – Guia de Procedimentos Para a Gestão*. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil), FEUP, Porto.
- Tenera, A. (2006). *Contribuição para a Melhoria da Gestão da Incerteza na Duração dos Projetos Através da Teoria das Restrições*. (Dissertação de Doutoramento em Engenharia e Gestão Industrial), FCT/UNL, Lisboa.
- Tenera, A. (2008). “Critical Chain Buffer Sizing: A Comparative Study”. Project Management Institute (PMI) Research Conference, Defining the Future of Project Management, Warsaw, Poland, pp.1-14. [Disponível em <http://www.pmi.org/learning/critical-chain-project-management-theory-7118>]
- Tenera, A. (2012). *A Gestão do Risco de Derrapagem da Duração de Projetos*. Risco, Segurança e Sustentabilidade, C. Guedes Soares, A. P. Teixeira e C. Jacinto, Edições Salamanca, Lisboa 2012, pp. 789 a 809.

Anexos

ANEXO I – ÁBACOS PARA AS CARTAS CUSUMQ

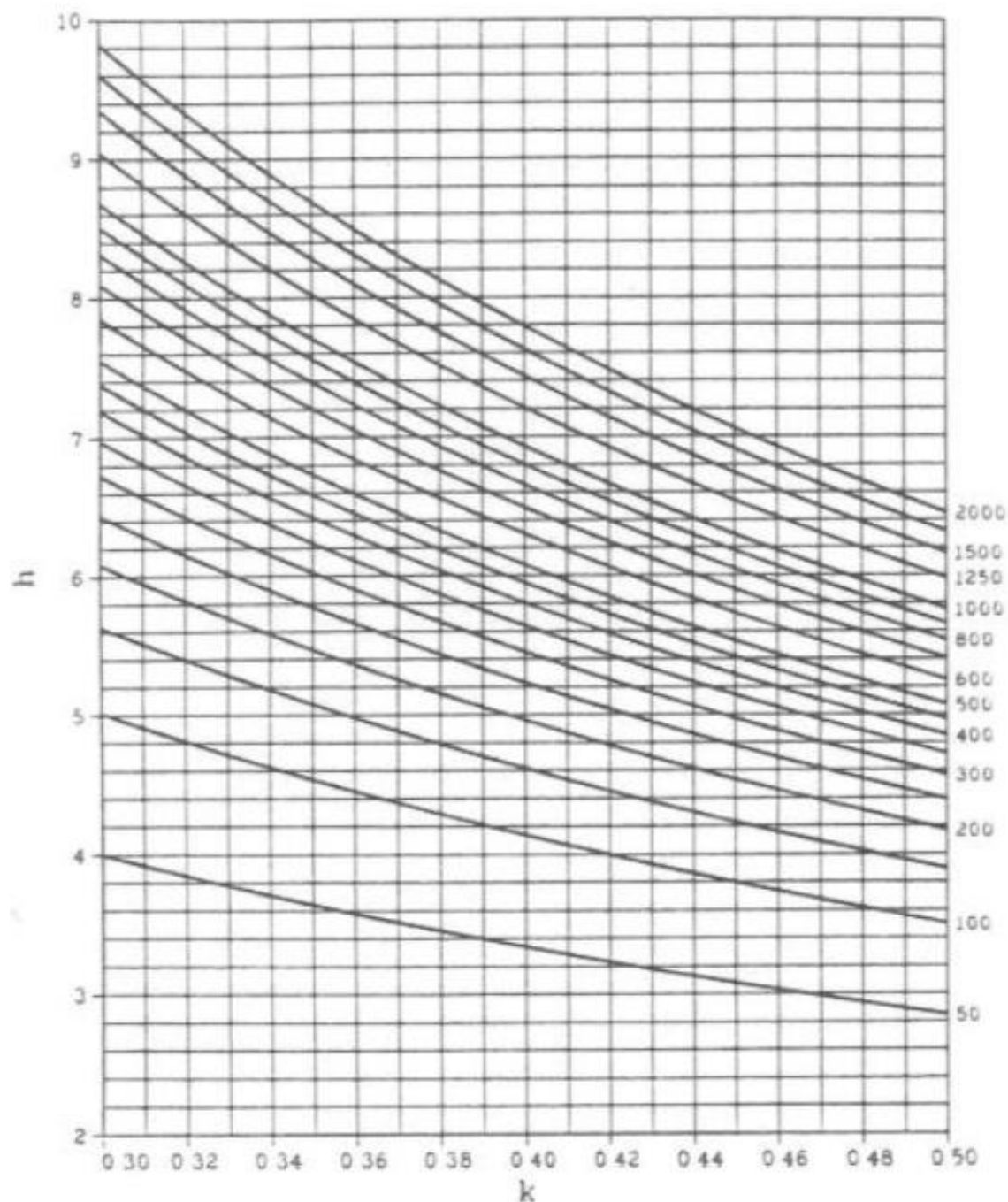


Figura I. 1 – Valor de k e h da Carta CUSUMQ, com $C_0=0$ e $T_0=0$, para vários valores $ARL_{Em\ Controle}$
[Fonte: Pereira & Requeijo (2012, p.731)].

ANEXO II – ÁBACOS PARA AS CARTAS EWMAQ

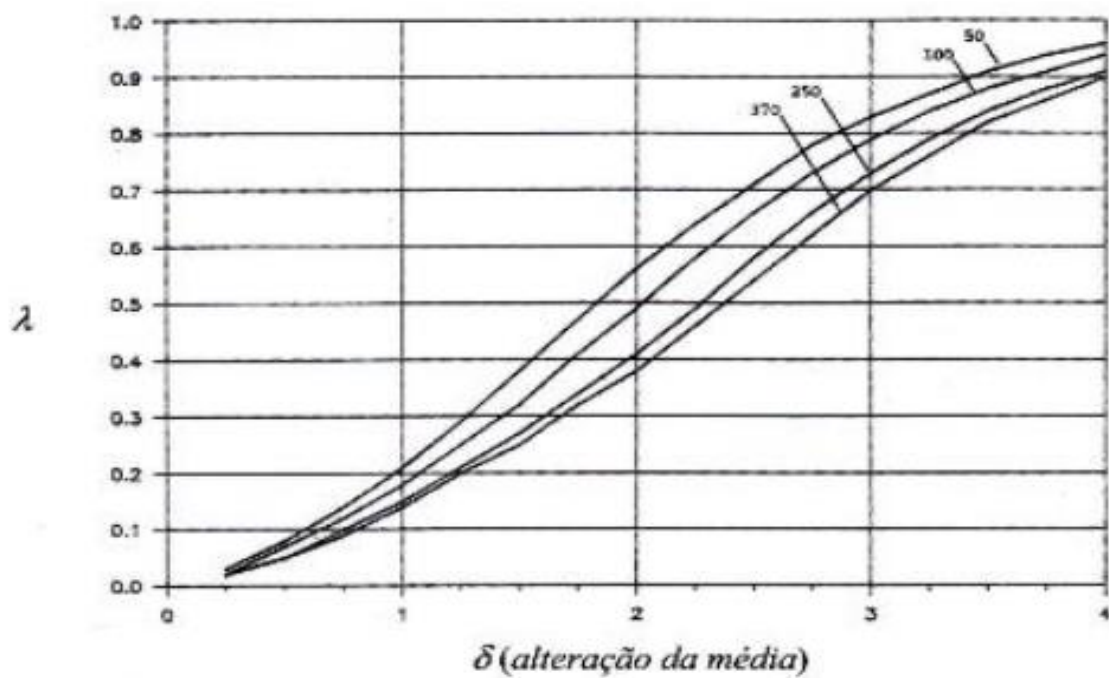


Figura II. 1 – Valor λ , da Carta EWMAQ, para vários valores ARL Em Controle
[Fonte: Pereira & Requeijo (2012, p.742)].

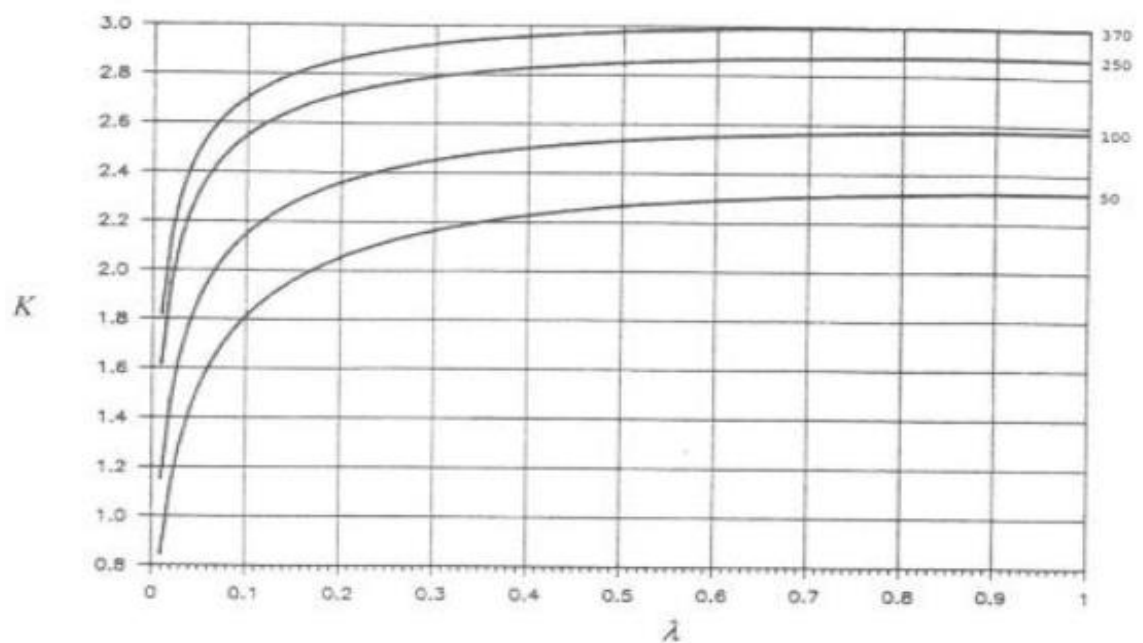


Figura II. 2 – Valor λ e k , da Carta EWMAQ, para vários valores ARL Em Controle
[Fonte: Pereira & Requeijo (2012, p.743)].

ANEXO III – ANÁLISE DAS RESERVAS: CASO DE ESTUDO

PB

Tabela III. 1 – Cartas Q da PB.

Carta Q - PB																						
LSE(h)	120	Início	27/03/15	Final	16/06/15	Últ Com.	16/06/15															
r	t	C _{pg}	X	MR	X	S	LSE	w	G(w)	Q(X)	v	MR2	θ	F(θ)	Q(MR)	LSC	LC	LIC	ICR	%CR	Data	
1	1	-5,0	-5,0		-5,00														-100,0%	0,0%	27/03/15	
2	2	-4,0	1,0	6,0	-2,00	4,243						36							-91,7%	0,0%	30/03/15	
3	3	-2,0	2,0	1,0	-0,67	3,786	120	0,770	0,709	0,55						3	0	-3	-30,6%	0,0%	31/03/15	
4	4	-5,0	-3,0	5,0	-1,25	3,304	120	-0,534	0,323	-0,46	1	25	0,69	0,44	-0,15	3	0	-3	-57,3%	0,0%	01/04/15	
5	5	-6,0	-1,0	2,0	-1,20	2,864	120	0,068	0,525	0,06						3	0	-3	-55,0%	0,0%	02/04/15	
6	6	-8,0	-2,0	1,0	-1,33	2,582	120	-0,255	0,406	-0,24	2	1	0,03	0,13	-1,14	3	0	-3	-61,1%	0,0%	06/04/15	
7	7	-4,0	4,0	6,0	-0,57	3,101	120	1,912	0,943	1,58						3	0	-3	-26,2%	0,0%	07/04/15	
8	8	-2,0	2,0	2,0	-0,25	3,012	120	0,776	0,766	0,73	3	4	0,19	0,31	-0,50	3	0	-3	-11,5%	0,0%	08/04/15	
9	9	-1,0	1,0	1,0	-0,11	2,848	120	0,391	0,646	0,38						3	0	-3	-5,1%	0,0%	09/04/15	
10	10	1,0	2,0	1,0	0,10	2,767	120	0,703	0,749	0,67	4	1	0,06	0,18	-0,91	3	0	-3	4,6%	0,8%	10/04/15	
11	11	4,0	3,0	1,0	0,36	2,767	120	0,999	0,828	0,95						3	0	-3	16,7%	3,3%	13/04/15	
12	12	6,0	2,0	1,0	0,50	2,680	120	0,566	0,708	0,55	5	1	0,07	0,20	-0,83	3	0	-3	22,9%	5,0%	14/04/15	
13	13	7,0	1,0	1,0	0,54	2,570	120	0,179	0,570	0,18						3	0	-3	24,7%	5,8%	15/04/15	
14	14	9,0	2,0	1,0	0,64	2,499	120	0,548	0,703	0,53	6	1	0,09	0,22	-0,76	3	0	-3	29,5%	7,5%	16/04/15	
15	15	8,0	-1,0	3,0	0,53	2,446	120	-0,635	0,268	-0,62						3	0	-3	24,4%	6,7%	17/04/15	
16	16	12,0	4,0	5,0	0,75	2,517	120	1,373	0,904	1,31	7	25	2,54	0,84	1,01	3	0	-3	34,4%	10,0%	20/04/15	
17	17	17,0	5,0	1,0	1,00	2,646	120	1,638	0,939	1,55						3	0	-3	45,8%	14,2%	21/04/15	
18	18	23,0	6,0	1,0	1,28	2,824	120	1,837	0,958	1,72	8	1	0,09	0,22	-0,77	3	0	-3	58,6%	19,2%	22/04/15	
19	19	28,0	5,0	1,0	1,47	2,875	120	1,283	0,892	1,24						3	0	-3	67,5%	23,3%	23/04/15	
20	20	31,0	3,0	2,0	1,55	2,819	120	0,518	0,694	0,51	9	4	0,38	0,45	-0,13	3	0	-3	71,0%	25,8%	24/04/15	
21	21	29,0	-2,0	5,0	1,38	2,854	120	-1,229	0,117	-1,19						3	0	-3	63,3%	24,2%	27/04/15	
22	22	28,0	-1,0	1,0	1,27	2,831	120	-0,815	0,212	-0,80	10	1	0,10	0,24	-0,70	3	0	-3	58,3%	23,3%	28/04/15	
23	23	33,0	5,0	6,0	1,43	2,873	120	1,287	0,894	1,25						3	0	-3	65,8%	27,5%	29/04/15	
24	24	30,0	-3,0	8,0	1,25	2,953	120	-1,511	0,073	-1,46	11	64	7,04	0,98	2,01	3	0	-3	57,3%	25,0%	30/04/15	
25	25	32,0	2,0	5,0	1,28	2,894	120	0,249	0,597	0,25						3	0	-3	58,7%	26,7%	04/05/15	
26	26	35,0	3,0	1,0	1,35	2,856	120	0,583	0,717	0,57	12	1	0,07	0,21	-0,81	3	0	-3	61,7%	29,2%	05/05/15	
27	27	31,0	-4,0	7,0	1,15	2,983	120	-1,837	0,039	-1,76						3	0	-3	52,6%	25,8%	06/05/15	
28	28	33,0	2,0	6,0	1,18	2,932	120	0,280	0,609	0,28	13	36	2,84	0,88	1,20	3	0	-3	54,0%	27,5%	07/05/15	
29	29	36,0	3,0	1,0	1,24	2,899	120	0,610	0,727	0,60						3	0	-3	56,9%	30,0%	08/05/15	
30	30	34,0	-2,0	5,0	1,13	2,909	120	-1,099	0,140	-1,08	14	25	1,74	0,79	0,81	3	0	-3	51,9%	28,3%	11/05/15	
31	31	40,0	6,0	8,0	1,29	2,991	120	1,646	0,945	1,60						3	0	-3	59,1%	33,3%	12/05/15	
32	32	44,0	4,0	2,0	1,38	2,981	120	0,892	0,810	0,88	15	4	0,27	0,39	-0,29	3	0	-3	63,0%	36,7%	13/05/15	
33	33	49,0	5,0	1,0	1,48	3,001	120	1,197	0,880	1,17						3	0	-3	68,1%	40,8%	14/05/15	
34	34	46,0	-3,0	8,0	1,35	3,054	120	-1,472	0,075	-1,44	16	64	4,45	0,95	1,64	3	0	-3	62,0%	38,3%	15/05/15	
35	35	44,0	-2,0	1,0	1,26	3,062	120	-1,082	0,144	-1,06						3	0	-3	57,6%	36,7%	18/05/15	
36	36	43,0	-1,0	1,0	1,19	3,041	120	-0,727	0,236	-0,72	17	1	0,06	0,19	-0,89	3	0	-3	54,7%	35,8%	19/05/15	
37	37	47,0	4,0	5,0	1,27	3,034	120	0,910	0,815	0,90						3	0	-3	58,2%	39,2%	20/05/15	
38	38	52,0	5,0	1,0	1,37	3,053	120	1,213	0,884	1,19	18	1	0,06	0,19	-0,87	3	0	-3	62,7%	43,3%	21/05/15	
39	39	54,0	2,0	3,0	1,38	3,014	120	0,204	0,580	0,20						3	0	-3	63,5%	45,0%	22/05/15	
40	40	57,0	3,0	1,0	1,43	2,986	120	0,529	0,700	0,52	19	1	0,06	0,20	-0,85	3	0	-3	65,3%	47,5%	25/05/15	
41	41	63,0	6,0	3,0	1,54	3,034	120	1,513	0,931	1,48						3	0	-3	70,4%	52,5%	26/05/15	
42	42	61,0	-2,0	8,0	1,45	3,046	120	-1,152	0,128	-1,14	20	64	4,31	0,95	1,64	3	0	-3	66,6%	50,8%	27/05/15	
43	43	60,0	-1,0	1,0	1,40	3,033	120	-0,796	0,215	-0,79						3	0	-3	64,0%	50,0%	28/05/15	
44	44	64,0	4,0	5,0	1,45	3,023	120	0,849	0,800	0,84	21	25	1,45	0,76	0,70	3	0	-3	66,7%	53,3%	29/05/15	
45	45	70,0	6,0	2,0	1,56	3,064	120	1,487	0,928	1,46						3	0	-3	71,3%	58,3%	01/06/15	
46	46	74,0	4,0	2,0	1,61	3,051	120	0,789	0,783	0,78	22	4	0,23	0,36	-0,35	3	0	-3	73,7%	61,7%	02/06/15	
47	47	77,0	3,0	1,0	1,64	3,025	120	0,451	0,673	0,45						3	0	-3	75,1%	64,2%	03/06/15	
48	48	81,0	4,0	1,0	1,69	3,012	120	0,773	0,778	0,77	23	1	0,06	0,19	-0,88	3	0	-3	77,3%	67,5%	04/06/15	
49	49	79,0	-2,0	6,0	1,61	3,026	120	-1,212	0,116	-1,20						3	0	-3	73,9%	65,8%	05/06/15	
50	50	80,0	1,0	3,0	1,60	2,997	120	-0,200	0,421	-0,20	24	9	0,55	0,54	0,09	3	0	-3	73,3%	66,7%	08/06/15	
51	51	77,0	-3,0	4,0	1,51	3,036	120	-1,520	0,067	-1,49						3	0	-3	69,2%	64,2%	09/06/15	
52	52	73,0	-4,0	1,0	1,40	3,101	120	-1,798	0,039	-1,76	25	1	0,06	0,20	-0,86	3	0	-3	64,3%	60,8%	11/06/15	
53	53	78,0	5,0	9,0	1,47	3,111	120	1,149	0,872	1,14						3	0	-3	67,5%	65,0%	12/06/15	
54	54	81,0	3,0	2,0	1,50	3,088	120	0,487	0,686	0,48	26	4	0,26	0,39	-0,29	3	0	-3	68,75%	67,50%	15/06/15	
55	55	80,0	-1,0	4,0	1,45	3,078	120	-0,802	0,213	-0,80						3	0	-3	66,67%	66,67%	16/06/15	

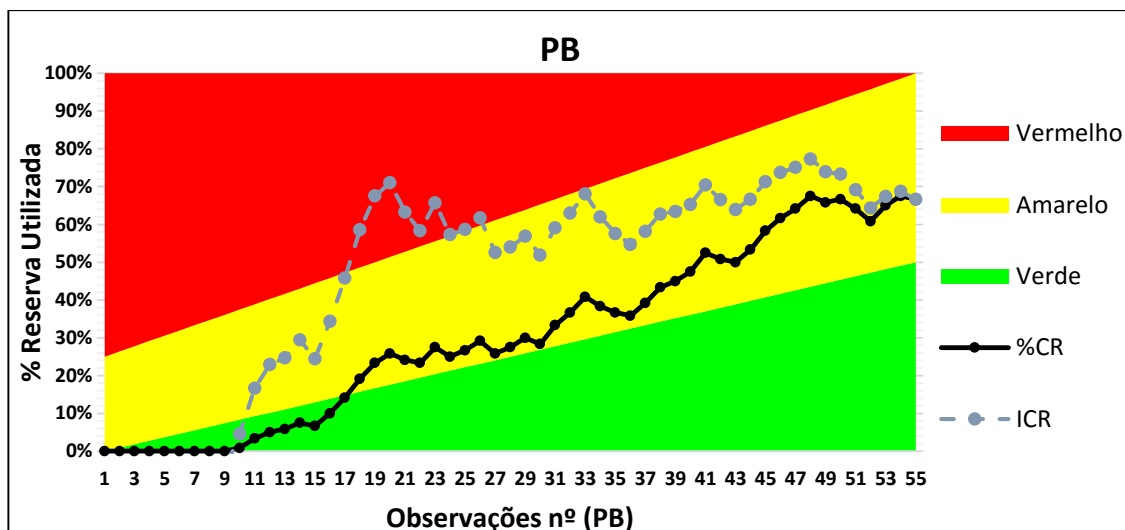


Figura III. 1 – Gráfico do Consumo da PB.

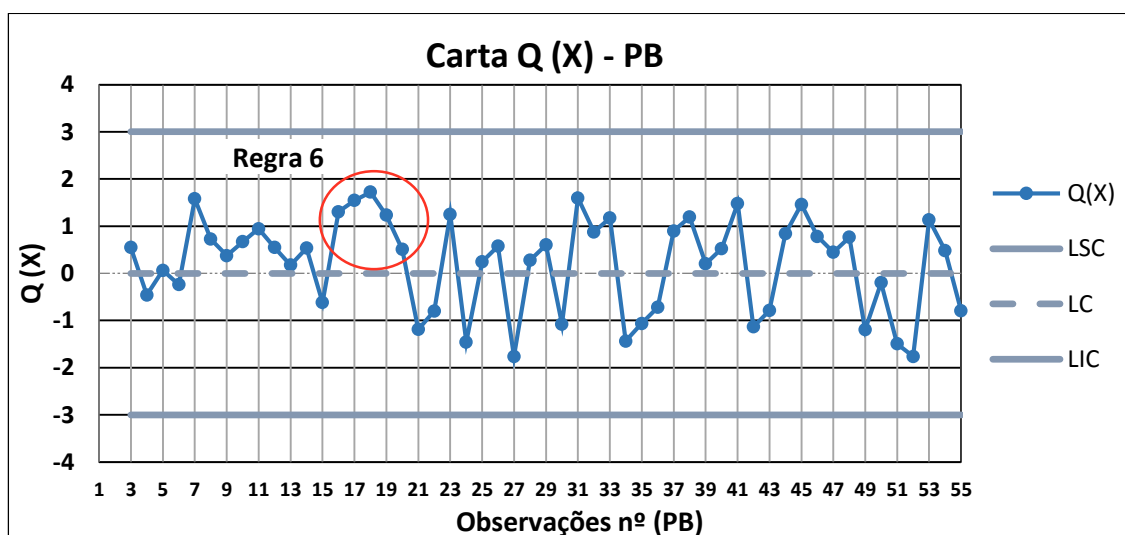


Figura III. 2 – Carta Q (X) da PB.

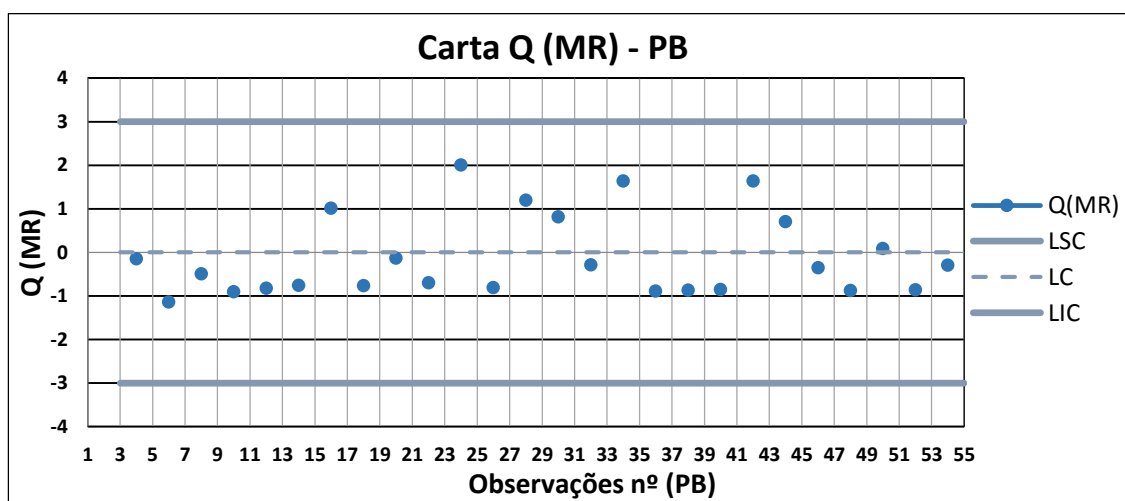


Figura III. 3 – Carta Q (MR) da PB.

Tabela III. 2 – Carta CUSUMQ da PB.

CUSUMQ - PB								
α	0,27%	$T_t = \min(0, T_{t-1} + (Q_t + k)) \quad , \quad T_0 = 0$ $C_t = \max(0, C_{t-1} + (Q_t - k)) \quad , \quad C_0 = 0$ $T_t < -h$ ou $C_t > +h$						
$ARL=1/\alpha$	370							
n	1							
$\Delta=\delta\sigma$	1							
δ	1							
k	0,5							
h	4,40							
C_0	0							
T_0	0							
t	Q(x)	C	N _c	T	N _r	h	h-	Data
1								27/03/15
2								30/03/15
3	0,55	0,05	1	0,00	0	4,40	-4,40	31/03/15
4	-0,46	0,00	0	0,00	0	4,40	-4,40	01/04/15
5	0,06	0,00	0	0,00	0	4,40	-4,40	02/04/15
6	-0,24	0,00	0	0,00	0	4,40	-4,40	06/04/15
7	1,58	1,08	1	0,00	0	4,40	-4,40	07/04/15
8	0,73	1,31	2	0,00	0	4,40	-4,40	08/04/15
9	0,38	1,18	3	0,00	0	4,40	-4,40	09/04/15
10	0,67	1,35	4	0,00	0	4,40	-4,40	10/04/15
11	0,95	1,80	5	0,00	0	4,40	-4,40	13/04/15
12	0,55	1,85	6	0,00	0	4,40	-4,40	14/04/15
13	0,18	1,52	7	0,00	0	4,40	-4,40	15/04/15
14	0,53	1,56	8	0,00	0	4,40	-4,40	16/04/15
15	-0,62	0,44	9	-0,12	1	4,40	-4,40	17/04/15
16	1,31	1,25	10	0,00	0	4,40	-4,40	20/04/15
17	1,55	2,29	11	0,00	0	4,40	-4,40	21/04/15
18	1,72	3,51	12	0,00	0	4,40	-4,40	22/04/15
19	1,24	4,25	13	0,00	0	4,40	-4,40	23/04/15
20	0,51	4,26	14	0,00	0	4,40	-4,40	24/04/15
21	-1,19	2,57	15	-0,69	1	4,40	-4,40	27/04/15
22	-0,80	1,27	16	-0,99	2	4,40	-4,40	28/04/15
23	1,25	2,02	17	0,00	0	4,40	-4,40	29/04/15
24	-1,46	0,06	18	-0,96	1	4,40	-4,40	30/04/15
25	0,25	0,00	0	-0,21	2	4,40	-4,40	04/05/15
26	0,57	0,07	1	0,00	0	4,40	-4,40	05/05/15
27	-1,76	0,00	0	-1,26	1	4,40	-4,40	06/05/15
28	0,28	0,00	0	-0,48	2	4,40	-4,40	07/05/15
29	0,60	0,10	1	0,00	0	4,40	-4,40	08/05/15
30	-1,08	0,00	0	-0,58	1	4,40	-4,40	11/05/15
31	1,60	1,10	1	0,00	0	4,40	-4,40	12/05/15
32	0,88	1,47	2	0,00	0	4,40	-4,40	13/05/15
33	1,17	2,15	3	0,00	0	4,40	-4,40	14/05/15
34	-1,44	0,21	4	-0,94	1	4,40	-4,40	15/05/15
35	-1,06	0,00	0	-1,50	2	4,40	-4,40	18/05/15
36	-0,72	0,00	0	-1,72	3	4,40	-4,40	19/05/15
37	0,90	0,40	1	-0,32	4	4,40	-4,40	20/05/15
38	1,19	1,09	2	0,00	0	4,40	-4,40	21/05/15
39	0,20	0,79	3	0,00	0	4,40	-4,40	22/05/15
40	0,52	0,82	4	0,00	0	4,40	-4,40	25/05/15
41	1,48	1,80	5	0,00	0	4,40	-4,40	26/05/15
42	-1,14	0,17	6	-0,64	1	4,40	-4,40	27/05/15
43	-0,79	0,00	0	-0,92	2	4,40	-4,40	28/05/15
44	0,84	0,34	1	0,00	0	4,40	-4,40	29/05/15
45	1,46	1,30	2	0,00	0	4,40	-4,40	01/06/15
46	0,78	1,58	3	0,00	0	4,40	-4,40	02/06/15
47	0,45	1,53	4	0,00	0	4,40	-4,40	03/06/15
48	0,77	1,80	5	0,00	0	4,40	-4,40	04/06/15
49	-1,20	0,10	6	-0,70	1	4,40	-4,40	05/06/15
50	-0,20	0,00	0	-0,40	2	4,40	-4,40	08/06/15
51	-1,49	0,00	0	-1,39	3	4,40	-4,40	09/06/15
52	-1,76	0,00	0	-2,65	4	4,40	-4,40	11/06/15
53	1,14	0,64	1	-1,02	5	4,40	-4,40	12/06/15
54	0,48	0,62	2	-0,03	6	4,40	-4,40	15/06/15
55	-0,80	0,00	0	-0,33	7	4,40	-4,40	16/06/15

Tabela III. 3 – Carta EWMAQ da PB.

EWMAQ - PB						
α	0,27%	<div> $LSC_E = E_0 + K \sigma_E = K \sigma_E$ $LC_E = E_0 = 0$ $LIC_E = E_0 - K \sigma_E = -K \sigma_E$ </div> $\sigma_E^2 = \sigma_0^2 \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) (1 - (1-\lambda)^n) = \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) (1 - (1-\lambda)^n)$ <div> $E_i = (1-\lambda) E_{i-1} + \lambda Q_i$, $E_0 = \mu_0 = 0$ </div>				
$ARL=1/\alpha$	370					
$\Delta=\delta\sigma$	1					
δ	1					
λ	0,15					
K	2,8					
σ_E^2	0,176					
σ_E	0,420					
E_0	0					
t	Q(x)	E	LIC	LC	LSC	Data
1						27/03/15
2						30/03/15
3	0,55	0,08	-1,18	0,00	1,18	31/03/15
4	-0,46	0,00	-1,18	0,00	1,18	01/04/15
5	0,06	0,01	-1,18	0,00	1,18	02/04/15
6	-0,24	-0,03	-1,18	0,00	1,18	06/04/15
7	1,58	0,21	-1,18	0,00	1,18	07/04/15
8	0,73	0,29	-1,18	0,00	1,18	08/04/15
9	0,38	0,30	-1,18	0,00	1,18	09/04/15
10	0,67	0,36	-1,18	0,00	1,18	10/04/15
11	0,95	0,45	-1,18	0,00	1,18	13/04/15
12	0,55	0,46	-1,18	0,00	1,18	14/04/15
13	0,18	0,42	-1,18	0,00	1,18	15/04/15
14	0,53	0,44	-1,18	0,00	1,18	16/04/15
15	-0,62	0,28	-1,18	0,00	1,18	17/04/15
16	1,31	0,43	-1,18	0,00	1,18	20/04/15
17	1,55	0,60	-1,18	0,00	1,18	21/04/15
18	1,72	0,77	-1,18	0,00	1,18	22/04/15
19	1,24	0,84	-1,18	0,00	1,18	23/04/15
20	0,51	0,79	-1,18	0,00	1,18	24/04/15
21	-1,19	0,49	-1,18	0,00	1,18	27/04/15
22	-0,80	0,30	-1,18	0,00	1,18	28/04/15
23	1,25	0,44	-1,18	0,00	1,18	29/04/15
24	-1,46	0,16	-1,18	0,00	1,18	30/04/15
25	0,25	0,17	-1,18	0,00	1,18	04/05/15
26	0,57	0,23	-1,18	0,00	1,18	05/05/15
27	-1,76	-0,07	-1,18	0,00	1,18	06/05/15
28	0,28	-0,02	-1,18	0,00	1,18	07/05/15
29	0,60	0,08	-1,18	0,00	1,18	08/05/15
30	-1,08	-0,10	-1,18	0,00	1,18	11/05/15
31	1,60	0,16	-1,18	0,00	1,18	12/05/15
32	0,88	0,27	-1,18	0,00	1,18	13/05/15
33	1,17	0,40	-1,18	0,00	1,18	14/05/15
34	-1,44	0,13	-1,18	0,00	1,18	15/05/15
35	-1,06	-0,05	-1,18	0,00	1,18	18/05/15
36	-0,72	-0,15	-1,18	0,00	1,18	19/05/15
37	0,90	0,00	-1,18	0,00	1,18	20/05/15
38	1,19	0,18	-1,18	0,00	1,18	21/05/15
39	0,20	0,19	-1,18	0,00	1,18	22/05/15
40	0,52	0,24	-1,18	0,00	1,18	25/05/15
41	1,48	0,42	-1,18	0,00	1,18	26/05/15
42	-1,14	0,19	-1,18	0,00	1,18	27/05/15
43	-0,79	0,04	-1,18	0,00	1,18	28/05/15
44	0,84	0,16	-1,18	0,00	1,18	29/05/15
45	1,46	0,36	-1,18	0,00	1,18	01/06/15
46	0,78	0,42	-1,18	0,00	1,18	02/06/15
47	0,45	0,43	-1,18	0,00	1,18	03/06/15
48	0,77	0,48	-1,18	0,00	1,18	04/06/15
49	-1,20	0,23	-1,18	0,00	1,18	05/06/15
50	-0,20	0,16	-1,18	0,00	1,18	08/06/15
51	-1,49	-0,09	-1,18	0,00	1,18	09/06/15
52	-1,76	-0,34	-1,18	0,00	1,18	11/06/15
53	1,14	-0,12	-1,18	0,00	1,18	12/06/15
54	0,48	-0,03	-1,18	0,00	1,18	15/06/15
55	-0,80	-0,14	-1,18	0,00	1,18	16/06/15

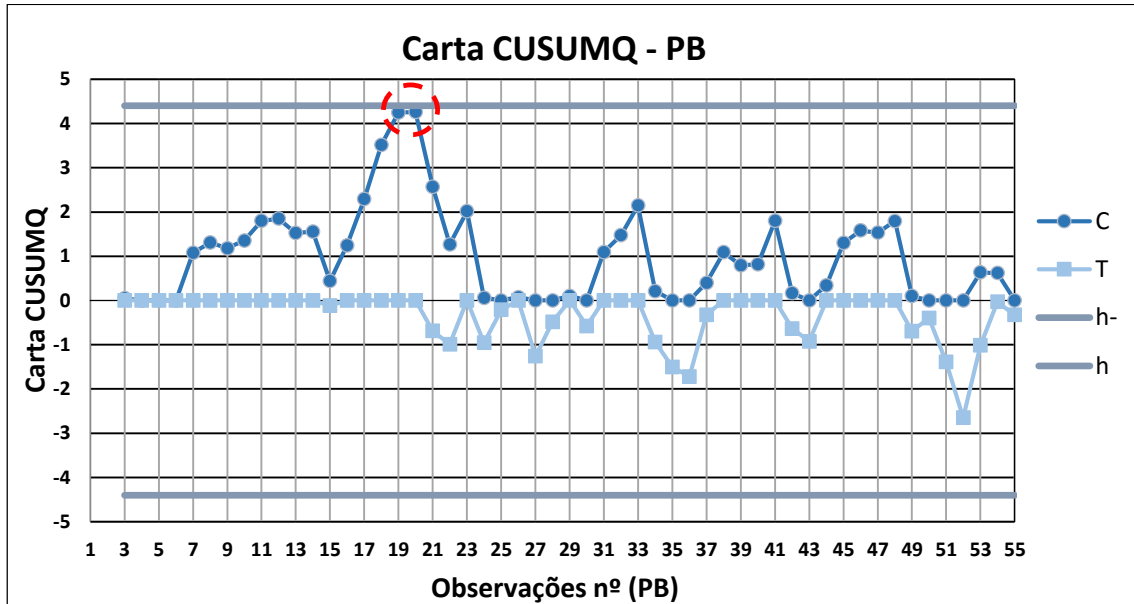


Figura III. 4 – Carta CUSUMQ da PB.

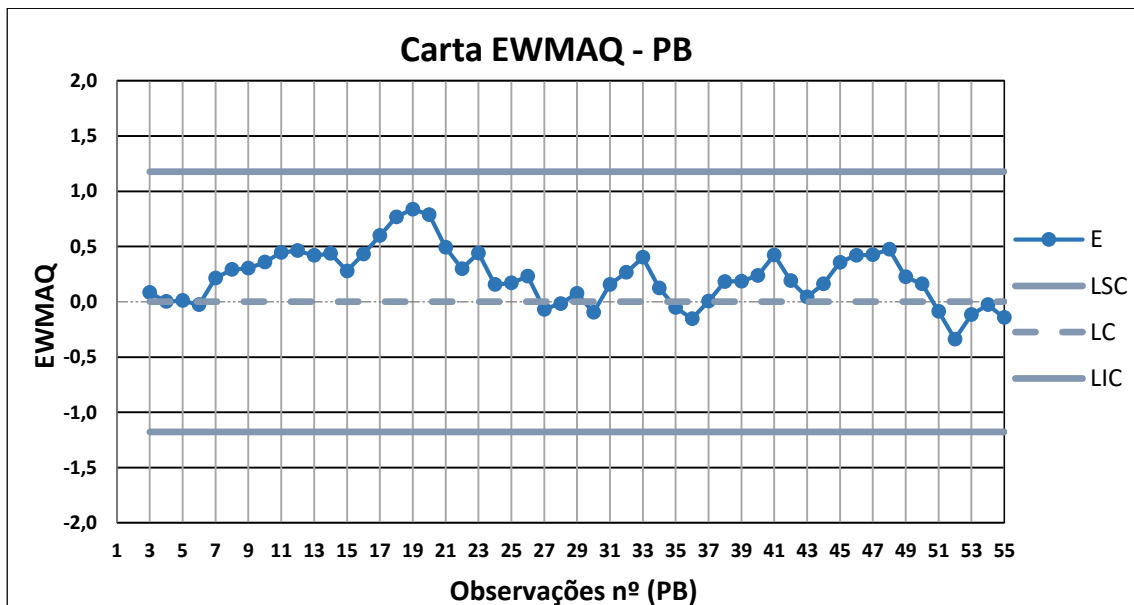


Figura III. 5 – Carta EWMAQ da PB.

FB1

Tabela III. 4 – Cartas Q da FB1.

Carta Q - FB1							
LSE(h)	48	Início	06/04/15	Final	30/04/15	Ult Com.	30/04/15
r	t	C _{pb}	X	MR	X	S	LSE
1	1	-4,0	-5,0		-5,00		
2	2	-3,0	1,0	6,0	-2,00	4,243	
3	3	-2,0	1,0	0,0	-1,00	3,464	48
4	4	3,0	5,0	4,0	0,50	4,123	48
5	5	7,0	4,0	1,0	1,20	3,899	48
6	6	14,0	7,0	3,0	2,17	4,215	48
7	7	17,0	3,0	4,0	2,29	3,861	48
8	8	19,0	2,0	1,0	2,25	3,576	48
9	9	18,0	-1,0	3,0	1,89	3,516	48
10	10	19,0	1,0	2,0	1,80	3,327	48
11	11	16,0	-3,0	4,0	1,36	3,472	48
12	12	14,0	-2,0	1,0	1,08	3,450	48
13	13	16,0	2,0	4,0	1,15	3,313	48
14	14	22,0	6,0	4,0	1,50	3,436	48
15	15	21,0	-1,0	7,0	1,33	3,374	48
16	16	19,0	-2,0	1,0	1,13	3,364	48
17	17	17,0	-2,0	0,0	0,94	3,344	48
18	18	24,0	7,0	9,0	1,28	3,545	48
19	19	25,0	1,0	6,0	1,26	3,445	48

w	G(w)	Q(X)	v	MR2	q	F(θ)	Q(MR)	LSC	LC	LIC	Icr	%CB	Data
0,577	0,667	0,43						3	0	-3	-100,0%	0,0%	06/04/15
1,500	0,864	1,10	1	16	0,44	0,37	-0,32	3	0	-3	-59,4%	0,0%	07/04/15
0,759	0,749	0,67						3	0	-3	-26,4%	0,0%	08/04/15
1,358	0,877	1,16	2	9	0,35	0,38	-0,29	3	0	-3	29,7%	6,3%	09/04/15
0,183	0,569	0,17						3	0	-3	55,4%	14,6%	10/04/15
-0,069	0,474	-0,07	3	1	0,05	0,16	-0,99	3	0	-3	92,4%	29,2%	13/04/15
-0,857	0,210	-0,81						3	0	-3	96,1%	35,4%	14/04/15
-0,240	0,408	-0,23	4	4	0,26	0,36	-0,35	3	0	-3	94,0%	39,6%	15/04/15
-1,376	0,101	-1,28						3	0	-3	79,2%	37,5%	16/04/15
-0,928	0,188	-0,89	5	1	0,08	0,21	-0,82	3	0	-3	75,2%	39,6%	17/04/15
0,255	0,598	0,25						3	0	-3	57,6%	33,3%	20/04/15
1,410	0,908	1,33	6	16	1,43	0,72	0,59	3	0	-3	46,2%	29,2%	21/04/15
-0,703	0,247	-0,68						3	0	-3	48,7%	33,3%	22/04/15
-0,957	0,177	-0,93	7	1	0,08	0,22	-0,77	3	0	-3	62,2%	45,8%	23/04/15
-0,901	0,191	-0,87						3	0	-3	55,4%	43,8%	24/04/15
1,761	0,951	1,66	8	81	7,71	0,98	1,98	3	0	-3	47,0%	39,6%	27/04/15
-0,076	0,470	-0,08						3	0	-3	39,6%	35,4%	28/04/15
											52,8%	50,0%	29/04/15
											52,1%	52,1%	30/04/15

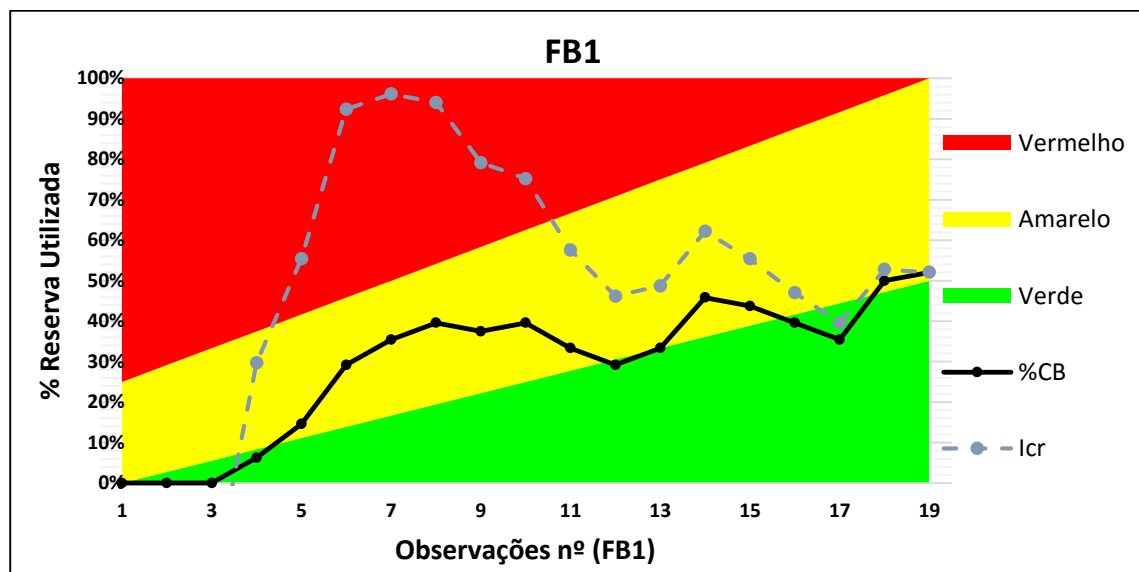


Figura III. 6 – Gráfico do Consumo da FB1.

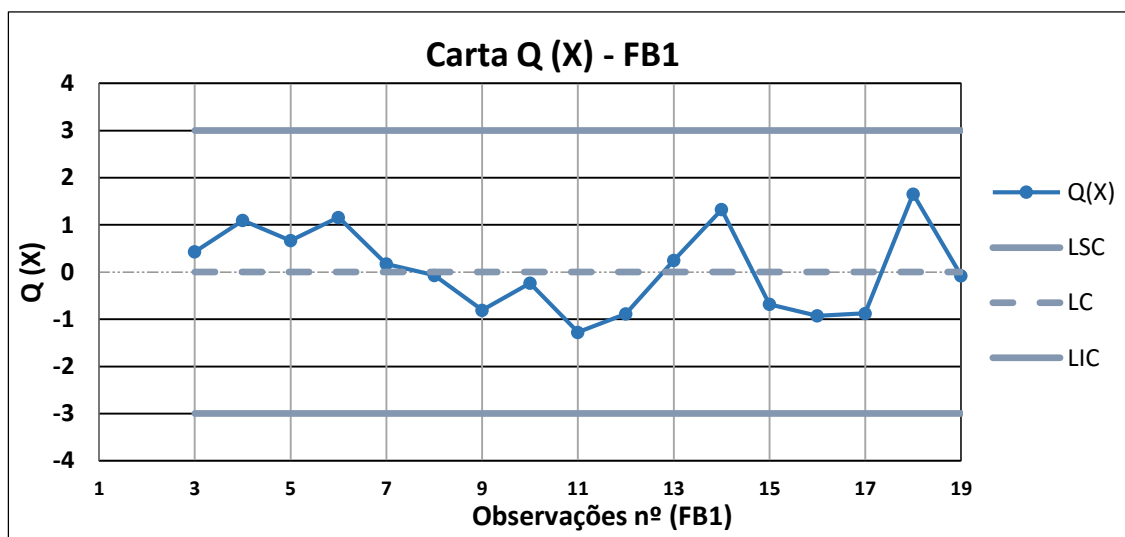


Figura III. 7 – Carta Q (X) da FB1.

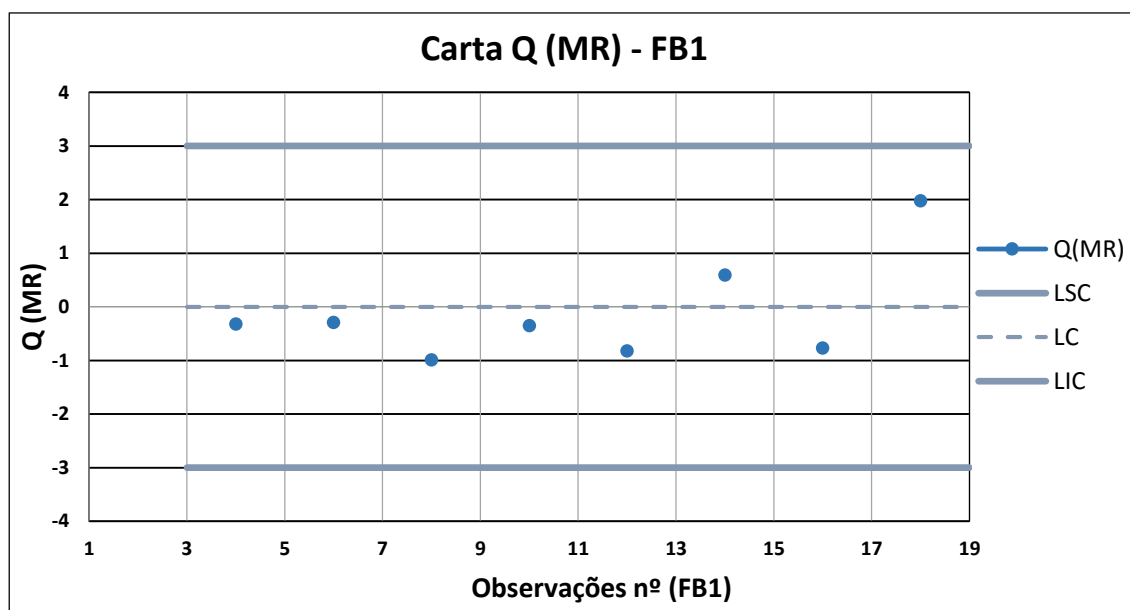


Figura III. 8 – Carta Q (MR) da FB1.

Tabela III. 5 – Carta CUSUMQ da FB1.

CUSUMQ - FB1								
α	0,27%	$T_t = \min(0, T_{t-1} + (Q_t + k)) \quad , \quad T_0 = 0$ $C_t = \max(0, C_{t-1} + (Q_t - k)) \quad , \quad C_0 = 0$ $T_t < -h$ ou $C_t > +h$						
$ARL=1/\alpha$	370							
n	1							
$\Delta=\delta\sigma$	1							
δ	1							
k	0,5							
h	4,40							
C_0	0							
T_0	0							
t	Q(x)	C	N _C	T	N _T	h	h-	Data
1								06/04/15
2								07/04/15
3	0,43	0,00	0	0,00	0	4,40	-4,40	08/04/15
4	1,10	0,60	1	0,00	0	4,40	-4,40	09/04/15
5	0,67	0,77	2	0,00	0	4,40	-4,40	10/04/15
6	1,16	1,43	3	0,00	0	4,40	-4,40	13/04/15
7	0,17	1,10	4	0,00	0	4,40	-4,40	14/04/15
8	-0,07	0,54	5	0,00	0	4,40	-4,40	15/04/15
9	-0,81	0,00	0	-0,31	1	4,40	-4,40	16/04/15
10	-0,23	0,00	0	-0,04	2	4,40	-4,40	17/04/15
11	-1,28	0,00	0	-0,81	3	4,40	-4,40	20/04/15
12	-0,89	0,00	0	-1,20	4	4,40	-4,40	21/04/15
13	0,25	0,00	0	-0,45	5	4,40	-4,40	22/04/15
14	1,33	0,83	1	0,00	0	4,40	-4,40	23/04/15
15	-0,68	0,00	0	-0,18	1	4,40	-4,40	24/04/15
16	-0,93	0,00	0	-0,61	2	4,40	-4,40	27/04/15
17	-0,87	0,00	0	-0,98	3	4,40	-4,40	28/04/15
18	1,66	1,16	1	0,00	0	4,40	-4,40	29/04/15
19	-0,08	0,58	2	0,00	0	4,40	-4,40	30/04/15

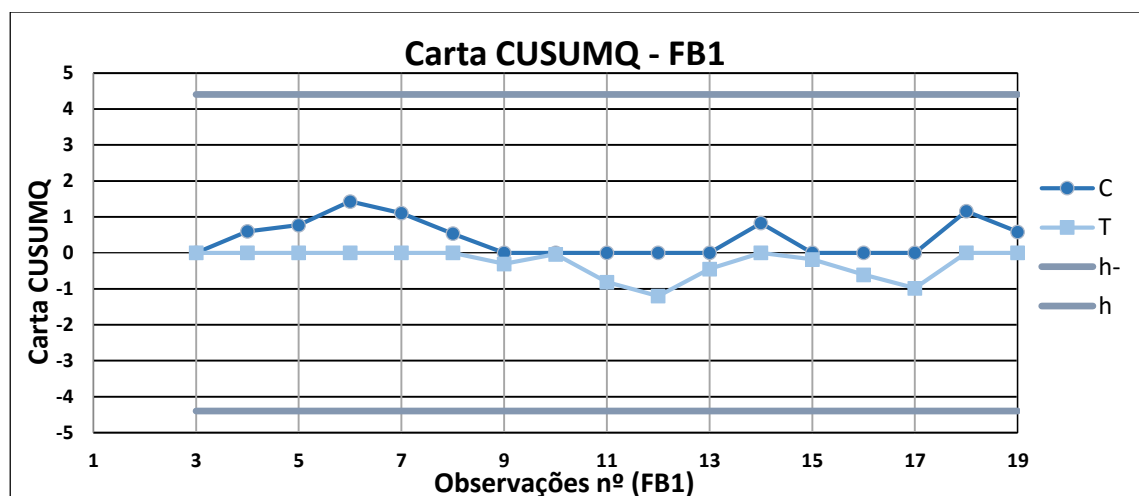


Figura III. 9 – Carta CUSUMQ da FB1.

Tabela III. 6 – Carta EWMAQ da FB1.

EWMAQ - FB1						
α	0,27%	<div> $LSC_E = E_0 + K \sigma_E = K \sigma_E$ $LC_E = E_0 = 0$ $LIC_E = E_0 - K \sigma_E = -K \sigma_E$ </div> $\sigma_E^2 = \sigma_Q^2 \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) (1-(1-\lambda)^{2t}) = \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) (1-(1-\lambda)^{2t})$ <div> $E_t = (1-\lambda) E_{t-1} + \lambda Q_t$, $E_0 = \mu_Q = 0$ </div>				
$ARL=1/\alpha$	370					
$\Delta=\delta\sigma$	1					
δ	1					
λ	0,15					
K	2,8					
σ_E^2	0,176					
σ_E	0,420					
E_0	0					
t	Q(x)	E	LIC _E	LC _E	LSC _E	Data
1						06/04/15
2						07/04/15
3	0,43	0,06	-1,18	0,00	1,18	08/04/15
4	1,10	0,22	-1,18	0,00	1,18	09/04/15
5	0,67	0,29	-1,18	0,00	1,18	10/04/15
6	1,16	0,42	-1,18	0,00	1,18	13/04/15
7	0,17	0,38	-1,18	0,00	1,18	14/04/15
8	-0,07	0,31	-1,18	0,00	1,18	15/04/15
9	-0,81	0,15	-1,18	0,00	1,18	16/04/15
10	-0,23	0,09	-1,18	0,00	1,18	17/04/15
11	-1,28	-0,12	-1,18	0,00	1,18	20/04/15
12	-0,89	-0,23	-1,18	0,00	1,18	21/04/15
13	0,25	-0,16	-1,18	0,00	1,18	22/04/15
14	1,33	0,06	-1,18	0,00	1,18	23/04/15
15	-0,68	-0,05	-1,18	0,00	1,18	24/04/15
16	-0,93	-0,18	-1,18	0,00	1,18	27/04/15
17	-0,87	-0,28	-1,18	0,00	1,18	28/04/15
18	1,66	0,01	-1,18	0,00	1,18	29/04/15
19	-0,08	0,00	-1,18	0,00	1,18	30/04/15

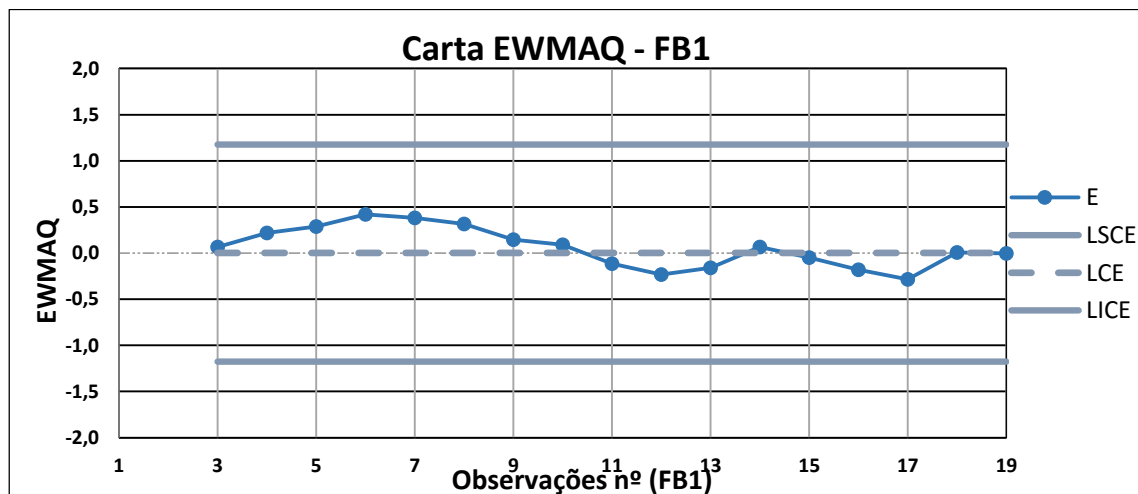


Figura III. 10 – Carta EWMAQ da FB1.

Tabela III. 7 – Cartas Q da FB2.

Carta Q - FB2																									
LSE(h)	24	Início	27/03/15	Final	30/03/15	Últ Com.	20/05/15																		
r	t	C _{ph}	X	MR	X	S	LSE	w	G(w)	Q(X)	v	MR2	θ	F(θ)	Q(MR)	LSC	LC	LIC	ICR	%CR	Data				
1	1	-5,0	-5,0		-5,00														-100,0%	0,0%	30/03/15				
2	2	-4,0	1,0	6,0	-2,00	4,243						36							-100,0%	0,0%	31/03/15				
3	3	-3,0	1,0	0,0	-1,00	3,464	24	0,577	0,667	0,43						3	0	-3	-100,0%	0,0%	01/04/15				
4	4	-4,0	-1,0	2,0	-1,00	2,828	24	0,000	0,500	0,00	1	4	0,11	0,205	-0,82	3	0	-3	-100,0%	0,0%	02/04/15				
5	5	-6,0	-2,0	1,0	-1,20	2,490	24	-0,316	0,386	-0,29						3	0	-3	-100,0%	0,0%	06/04/15				
6	6	-5,0	1,0	3,0	-0,83	2,401	24	0,807	0,767	0,73	2	9	0,45	0,43	-0,18	3	0	-3	-100,0%	0,0%	07/04/15				
7	7	-6,0	-1,0	2,0	-0,86	2,193	24	-0,064	0,476	-0,06						3	0	-3	-100,0%	0,0%	08/04/15				
8	8	-4,0	2,0	3,0	-0,50	2,268	24	1,219	0,866	1,11	3	9	0,55	0,49	-0,03	3	0	-3	-75,0%	0,0%	09/04/15				
9	9	-1,0	3,0	1,0	-0,11	2,421	24	1,455	0,906	1,31						3	0	-3	-16,7%	0,0%	10/04/15				
10	10	1,0	2,0	1,0	0,10	2,378	24	0,827	0,784	0,79	4	1	0,07	0,19	-0,86	3	0	-3	15,0%	4,2%	13/04/15				
11	11	4,0	3,0	1,0	0,36	2,420	24	1,163	0,863	1,09						3	0	-3	54,5%	16,7%	14/04/15				
12	12	6,0	2,0	1,0	0,50	2,355	24	0,647	0,734	0,63	5	1	0,08	0,22	-0,78	3	0	-3	75,0%	25,0%	15/04/15				
13	13	8,0	2,0	0,0	0,62	2,293	24	0,612	0,724	0,59						3	0	-3	92,3%	33,3%	16/04/15				
14	14	4,0	-2,0	6,0	0,29	2,525	24	-1,940	0,038	-1,77	6	36	3,60	0,89	1,25	3	0	-3	42,9%	16,7%	17/04/15				
15	15	2,0	-2,0	2,0	0,13	2,503	24	-0,875	0,199	-0,85						3	0	-3	20,0%	8,3%	20/04/15				
16	16	-1,0	-3,0	1,0	-0,06	2,542	24	-1,212	0,123	-1,16	7	1	0,07	0,21	-0,82	3	0	-3	-9,4%	0,0%	21/04/15				
17	17	-5,0	-4,0	1,0	-0,29	2,640	24	-1,503	0,077	-1,43						3	0	-3	-44,1%	0,0%	22/04/15				
18	18	-8,0	-3,0	1,0	-0,44	2,640	24	-0,996	0,167	-0,97	8	1	0,08	0,22	-0,78	3	0	-3	-66,7%	0,0%	23/04/15				
19	19	-7,0	1,0	4,0	-0,37	2,587	24	0,533	0,699	0,52						3	0	-3	-55,3%	0,0%	24/04/15				
20	20	-5,0	2,0	1,0	-0,25	2,573	24	0,892	0,808	0,87	9	1	0,09	0,23	-0,73	3	0	-3	-37,5%	0,0%	27/04/15				
21	21	-7,0	-2,0	4,0	-0,33	2,536	24	-0,664	0,257	-0,65						3	0	-3	-50,0%	0,0%	28/04/15				
22	22	-1,0	6,0	8,0	-0,05	2,820	24	2,440	0,988	2,25	10	64	6,46	0,97	1,89	3	0	-3	-6,8%	0,0%	29/04/15				
23	23	2,0	3,0	3,0	0,09	2,827	24	1,056	0,849	1,03						3	0	-3	13,0%	8,3%	30/04/15				
24	24	6,0	4,0	1,0	0,25	2,878	24	1,355	0,905	1,31	11	1	0,07	0,20	-0,84	3	0	-3	37,5%	25,0%	04/05/15				
25	25	6,0	0,0	4,0	0,24	2,818	24	-0,085	0,466	-0,08						3	0	-3	36,0%	25,0%	05/05/15				
26	26	9,0	3,0	3,0	0,35	2,813	24	0,960	0,827	0,94	12	9	0,66	0,57	0,17	3	0	-3	51,9%	37,5%	06/05/15				
27	27	13,0	4,0	1,0	0,48	2,847	24	1,274	0,893	1,24						3	0	-3	54,2%	54,2%	07/05/15				
28	28	16,0	3,0	1,0	0,57	2,834	24	0,869	0,804	0,85	13	1	0,08	0,21	-0,80	3	0	-3	85,7%	66,7%	08/05/15				
29	29	18,0	2,0	1,0	0,62	2,796	24	0,495	0,688	0,49						3	0	-3	93,1%	75,0%	11/05/15				
30	30	19,0	1,0	1,0	0,63	2,748	24	0,133	0,553	0,13	14	1	0,08	0,22	-0,77	3	0	-3	95,0%	79,2%	12/05/15				
31	31	21,0	2,0	1,0	0,68	2,713	24	0,489	0,686	0,48						3	0	-3	101,6%	87,5%	13/05/15				
32	32	24,0	3,0	1,0	0,75	2,700	24	0,843	0,797	0,83	15	1	0,09	0,23	-0,75	3	0	-3	112,5%	100,0%	14/05/15				
33	33	24,0	0,0	3,0	0,73	2,661	24	-0,274	0,393	-0,27						3	0	-3	109,1%	100,0%	15/05/15				
34	34	25,0	1,0	1,0	0,74	2,621	24	0,101	0,540	0,10	16	1	0,09	0,23	-0,73	3	0	-3	110,3%	100,0%	18/05/15				
35	35	26,0	1,0	0,0	0,74	2,582	24	0,100	0,539	0,10						3	0	-3	111,4%	100,0%	19/05/15				
36	36	28,0	2,0	1,0	0,78	2,554	24	0,480	0,683	0,48	17	1	0,10	0,24	-0,71	3	0	-3	116,7%	100,0%	20/05/15				

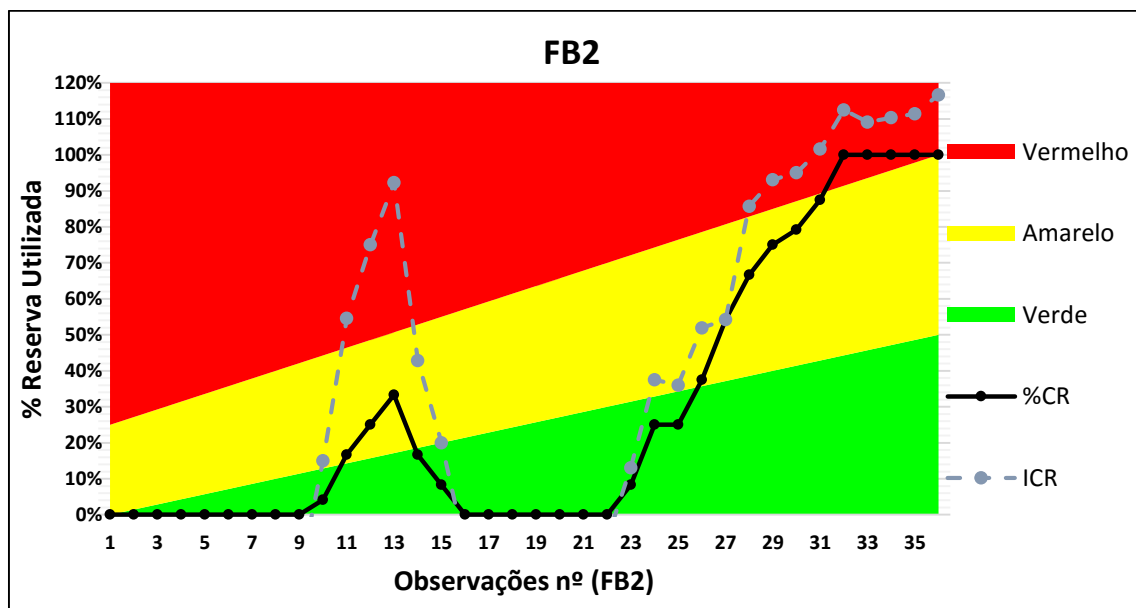


Figura III. 11 – Gráfico do Consumo da FB2.

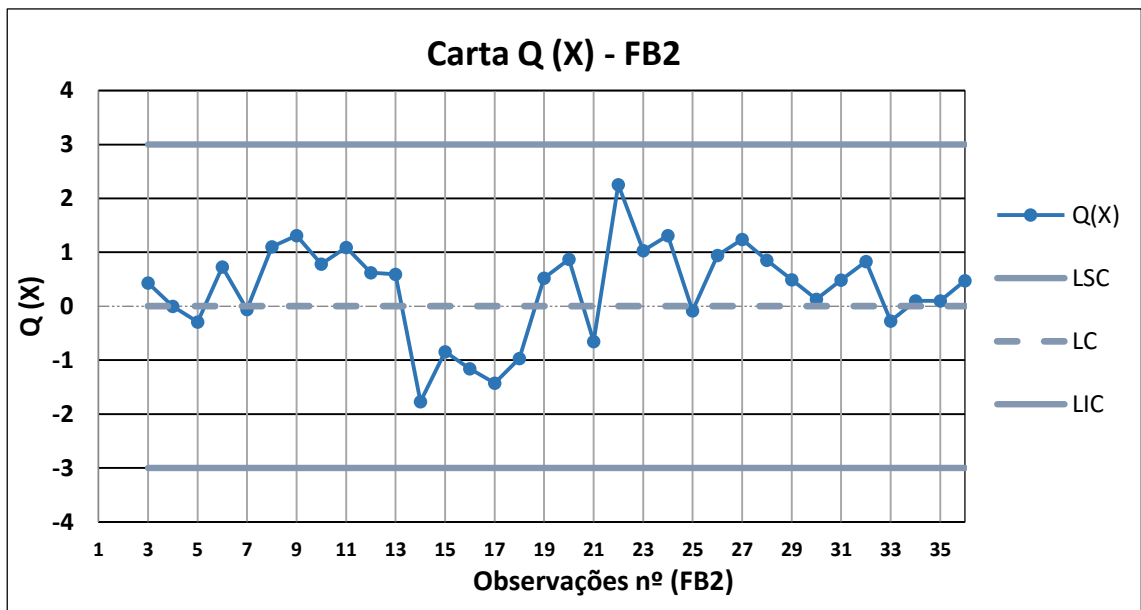


Figura III. 12 – Carta Q (X) da FB2.

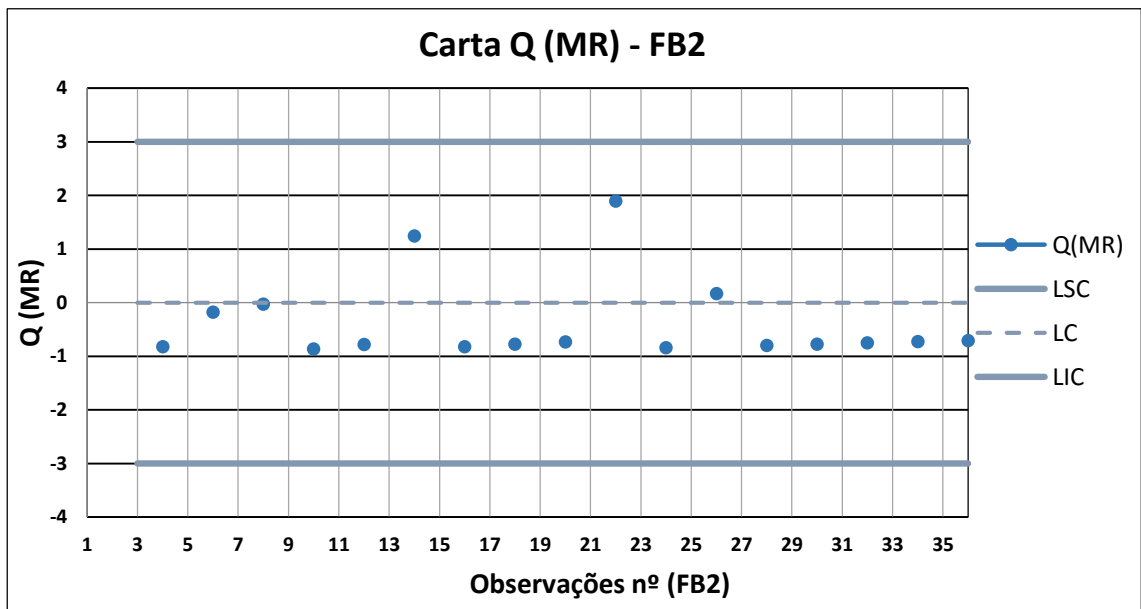


Figura III. 13 – Carta Q (MR) da FB2.

Tabela III. 8 – Carta CUSUMQ da FB2.

CUSUMQ - FB2								
α	0,27%	$T_t = \min(0, T_{t-1} + (Q_t + k)) \quad , \quad T_0 = 0$ $C_t = \max(0, C_{t-1} + (Q_t - k)) \quad , \quad C_0 = 0$ $T_t < -h$ ou $C_t > +h$						
$ARL=1/\alpha$	370							
n	1							
$\Delta=\delta\sigma$	1							
δ	1							
k	0,5							
h	4,40							
C_0	0							
T_0	0							
t	Q(x)	C	N _C	T	N _T	h	h-	Data
1								30/03/15
2								31/03/15
3	0,43	0,00	0	0,00	0	4,40	-4,40	01/04/15
4	0,00	0,00	0	0,00	0	4,40	-4,40	02/04/15
5	-0,29	0,00	0	0,00	0	4,40	-4,40	06/04/15
6	0,73	0,23	1	0,00	0	4,40	-4,40	07/04/15
7	-0,06	0,00	0	0,00	0	4,40	-4,40	08/04/15
8	1,11	0,61	1	0,00	0	4,40	-4,40	09/04/15
9	1,31	1,42	2	0,00	0	4,40	-4,40	10/04/15
10	0,79	1,71	3	0,00	0	4,40	-4,40	13/04/15
11	1,09	2,30	4	0,00	0	4,40	-4,40	14/04/15
12	0,63	2,42	5	0,00	0	4,40	-4,40	15/04/15
13	0,59	2,52	6	0,00	0	4,40	-4,40	16/04/15
14	-1,77	0,24	7	-1,27	1	4,40	-4,40	17/04/15
15	-0,85	0,00	0	-1,62	2	4,40	-4,40	20/04/15
16	-1,16	0,00	0	-2,28	3	4,40	-4,40	21/04/15
17	-1,43	0,00	0	-3,21	4	4,40	-4,40	22/04/15
18	-0,97	0,00	0	-3,67	5	4,40	-4,40	23/04/15
19	0,52	0,02	1	-2,65	6	4,40	-4,40	24/04/15
20	0,87	0,39	2	-1,28	7	4,40	-4,40	27/04/15
21	-0,65	0,00	0	-1,43	8	4,40	-4,40	28/04/15
22	2,25	1,75	1	0,00	0	4,40	-4,40	29/04/15
23	1,03	2,29	2	0,00	0	4,40	-4,40	30/04/15
24	1,31	3,10	3	0,00	0	4,40	-4,40	04/05/15
25	-0,08	2,51	4	0,00	0	4,40	-4,40	05/05/15
26	0,94	2,96	5	0,00	0	4,40	-4,40	06/05/15
27	1,24	3,70	6	0,00	0	4,40	-4,40	07/05/15
28	0,85	4,05	7	0,00	0	4,40	-4,40	08/05/15
29	0,49	4,04	8	0,00	0	4,40	-4,40	11/05/15
30	0,13	3,67	9	0,00	0	4,40	-4,40	12/05/15
31	0,48	3,66	10	0,00	0	4,40	-4,40	13/05/15
32	0,83	3,99	11	0,00	0	4,40	-4,40	14/05/15
33	-0,27	3,22	12	0,00	0	4,40	-4,40	15/05/15
34	0,10	2,82	13	0,00	0	4,40	-4,40	18/05/15
35	0,10	2,42	14	0,00	0	4,40	-4,40	19/05/15
36	0,48	2,39	15	0,00	0	4,40	-4,40	20/05/15

Tabela III. 9 – Carta EWMAQ da FB2.

EWMAQ - FB2						
α	0,27%	<div> $LSC_E = E_0 + K \sigma_E = K \sigma_E$ $LC_E = E_0 = 0$ $LIC_E = E_0 - K \sigma_E = -K \sigma_E$ </div> $\sigma_E^2 = \sigma_0^2 \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) (1 - (1-\lambda)^{2t}) = \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) (1 - (1-\lambda)^{2t})$ <div> $E_t = (1-\lambda) E_{t-1} + \lambda Q_t$, $E_0 = \mu_0 = 0$ </div>				
$ARL=1/\alpha$	370					
$\Delta=\delta\sigma$	1					
δ	1					
λ	0,15					
K	2,8					
σ_E^2	0,176					
σ_E	0,420					
E_0	0					
t	Q(x)	E	LIC	LC	LSC	Data
1						30/03/15
2						31/03/15
3	0,43	0,06	-1,18	0,00	1,18	01/04/15
4	0,00	0,05	-1,18	0,00	1,18	02/04/15
5	-0,29	0,00	-1,18	0,00	1,18	06/04/15
6	0,73	0,11	-1,18	0,00	1,18	07/04/15
7	-0,06	0,09	-1,18	0,00	1,18	08/04/15
8	1,11	0,24	-1,18	0,00	1,18	09/04/15
9	1,31	0,40	-1,18	0,00	1,18	10/04/15
10	0,79	0,46	-1,18	0,00	1,18	13/04/15
11	1,09	0,55	-1,18	0,00	1,18	14/04/15
12	0,63	0,56	-1,18	0,00	1,18	15/04/15
13	0,59	0,57	-1,18	0,00	1,18	16/04/15
14	-1,77	0,22	-1,18	0,00	1,18	17/04/15
15	-0,85	0,06	-1,18	0,00	1,18	20/04/15
16	-1,16	-0,13	-1,18	0,00	1,18	21/04/15
17	-1,43	-0,32	-1,18	0,00	1,18	22/04/15
18	-0,97	-0,42	-1,18	0,00	1,18	23/04/15
19	0,52	-0,28	-1,18	0,00	1,18	24/04/15
20	0,87	-0,10	-1,18	0,00	1,18	27/04/15
21	-0,65	-0,19	-1,18	0,00	1,18	28/04/15
22	2,25	0,18	-1,18	0,00	1,18	29/04/15
23	1,03	0,31	-1,18	0,00	1,18	30/04/15
24	1,31	0,46	-1,18	0,00	1,18	04/05/15
25	-0,08	0,38	-1,18	0,00	1,18	05/05/15
26	0,94	0,46	-1,18	0,00	1,18	06/05/15
27	1,24	0,58	-1,18	0,00	1,18	07/05/15
28	0,85	0,62	-1,18	0,00	1,18	08/05/15
29	0,49	0,60	-1,18	0,00	1,18	11/05/15
30	0,13	0,53	-1,18	0,00	1,18	12/05/15
31	0,48	0,52	-1,18	0,00	1,18	13/05/15
32	0,83	0,57	-1,18	0,00	1,18	14/05/15
33	-0,27	0,44	-1,18	0,00	1,18	15/05/15
34	0,10	0,39	-1,18	0,00	1,18	18/05/15
35	0,10	0,35	-1,18	0,00	1,18	19/05/15
36	0,48	0,37	-1,18	0,00	1,18	20/05/15

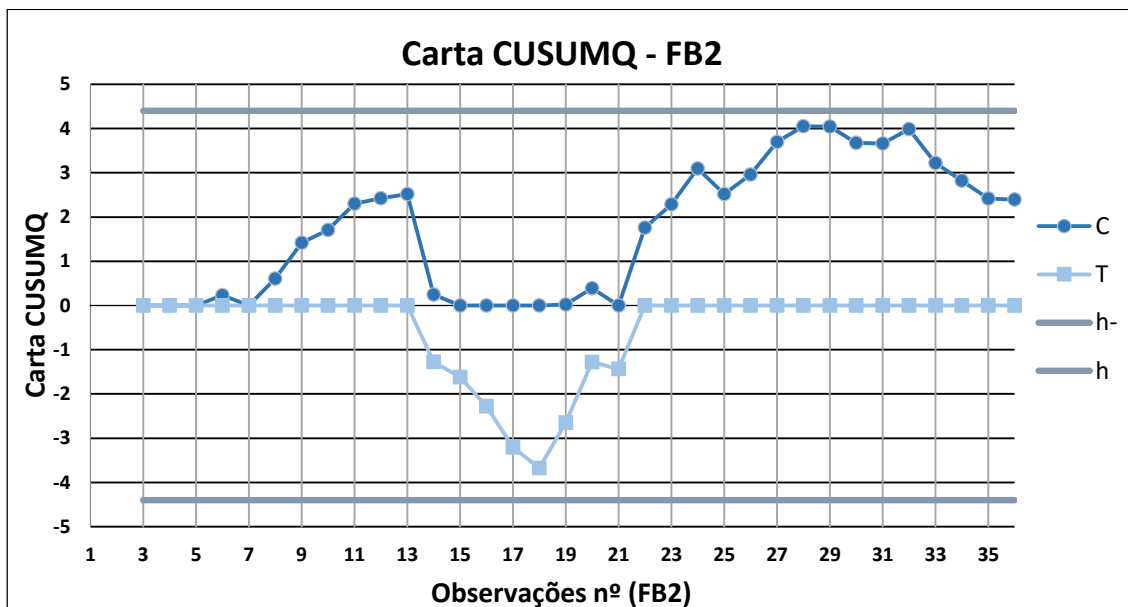


Figura III. 14 – Carta CUSUMQ da FB2.

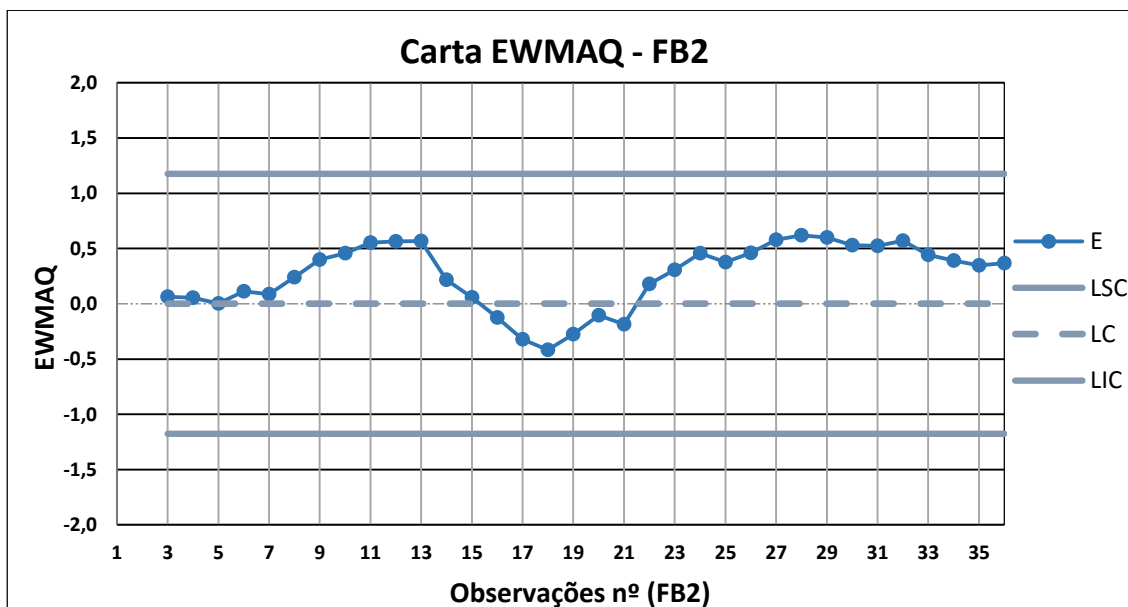


Figura III. 15 – Carta EWMAQ da FB2.

FB3

Tabela III. 10 – Cartas Q da FB3.

Carta Q - FB3																					
LSE(H)	72	Início	27/03/15	Final	15/05/15	Últ Com.	15/05/15														
r	t	C _{pb}	X	MR	X	S	LSE	w	G(w)	Q(X)	v	MR2	θ	F(θ)	Q(MR)	LSC	LC	LIC	ICR	%CR	Data
1	1	-3,0	-5,0		-5,00														-100,0%	0,0%	30/03/15
2	2	-4,0	-1,0	4,0	-3,00	2,828						16							-91,7%	0,0%	31/03/15
3	3	-3,0	1,0	2,0	-1,67	3,055	72	1,155	0,773	0,75						3	0	-3	-45,8%	0,0%	01/04/15
4	4	-4,0	-1,0	2,0	-1,50	2,517	72	0,189	0,566	0,17	1	4	0,25	0,295	-0,54	3	0	-3	-45,8%	0,0%	02/04/15
5	5	-6,0	-2,0	1,0	-1,60	2,191	72	-0,178	0,435	-0,16						3	0	-3	-55,0%	0,0%	06/04/15
6	6	-5,0	1,0	3,0	-1,17	2,229	72	1,083	0,830	0,95	2	9	0,90	0,56	0,14	3	0	-3	-38,2%	0,0%	07/04/15
7	7	-7,0	-2,0	3,0	-1,29	2,059	72	-0,346	0,372	-0,33						3	0	-3	-45,8%	0,0%	08/04/15
8	8	-3,0	4,0	6,0	-0,63	2,669	72	2,402	0,973	1,93	3	36	3,72	0,85	1,04	3	0	-3	-17,2%	0,0%	09/04/15
9	9	-1,0	2,0	2,0	-0,33	2,646	72	0,927	0,808	0,87						3	0	-3	-5,1%	0,0%	10/04/15
10	10	2,0	3,0	1,0	0,00	2,708	72	1,195	0,867	1,11	4	1	0,06	0,18	-0,90	3	0	-3	9,2%	2,8%	13/04/15
11	11	3,0	1,0	2,0	0,09	2,587	72	0,352	0,634	0,34						3	0	-3	12,5%	4,2%	14/04/15
12	12	6,0	3,0	2,0	0,33	2,605	72	1,077	0,847	1,02	5	4	0,30	0,39	-0,27	3	0	-3	22,9%	8,3%	15/04/15
13	13	9,0	3,0	0,0	0,54	2,602	72	0,983	0,827	0,94						3	0	-3	31,7%	12,5%	16/04/15
14	14	4,0	-5,0	8,0	0,14	2,905	72	-2,051	0,031	-1,86	6	64	5,49	0,94	1,57	3	0	-3	13,1%	5,6%	17/04/15
15	15	2,0	-2,0	3,0	0,00	2,854	72	-0,713	0,244	-0,69						3	0	-3	6,1%	2,8%	20/04/15
16	16	-1,0	-3,0	1,0	-0,19	2,857	72	-1,018	0,163	-0,98	7	1	0,05	0,17	-0,94	3	0	-3	-2,9%	0,0%	21/04/15
17	17	-5,0	-4,0	1,0	-0,41	2,917	72	-1,295	0,108	-1,24						3	0	-3	-13,5%	0,0%	22/04/15
18	18	-8,0	-3,0	1,0	-0,56	2,895	72	-0,862	0,201	-0,84	8	1	0,06	0,19	-0,89	3	0	-3	-20,4%	0,0%	23/04/15
19	19	-4,0	4,0	7,0	-0,32	3,001	72	1,532	0,928	1,46						3	0	-3	-9,6%	0,0%	24/04/15
20	20	-2,0	2,0	2,0	-0,20	2,966	72	0,752	0,769	0,74	9	4	0,26	0,38	-0,30	3	0	-3	-4,6%	0,0%	27/04/15
21	21	5,0	7,0	5,0	0,14	3,291	72	2,369	0,986	2,19						3	0	-3	10,9%	6,9%	28/04/15
22	22	10,0	5,0	2,0	0,36	3,374	72	1,442	0,918	1,39	10	4	0,29	0,40	-0,27	3	0	-3	20,8%	13,9%	29/04/15
23	23	17,0	7,0	2,0	0,65	3,575	72	1,924	0,966	1,82						3	0	-3	33,9%	23,6%	30/04/15
24	24	22,0	5,0	2,0	0,83	3,608	72	1,190	0,877	1,16	11	4	0,31	0,41	-0,23	3	0	-3	42,0%	30,6%	04/05/15
25	25	27,0	5,0	0,0	1,00	3,629	72	1,132	0,865	1,10						3	0	-3	49,5%	37,5%	05/05/15
26	26	30,0	3,0	2,0	1,08	3,577	72	0,540	0,703	0,53	12	4	0,32	0,42	-0,20	3	0	-3	52,9%	41,7%	06/05/15
27	27	32,0	2,0	1,0	1,11	3,512	72	0,253	0,599	0,25						3	0	-3	44,4%	44,4%	07/05/15
28	28	31,0	-1,0	3,0	1,04	3,469	72	-0,590	0,280	-0,58	13	9	0,77	0,60	0,26	3	0	-3	50,7%	43,1%	08/05/15
29	29	29,0	-2,0	1,0	0,93	3,453	72	-0,860	0,199	-0,85						3	0	-3	45,8%	40,3%	11/05/15
30	30	34,0	5,0	7,0	1,07	3,473	72	1,159	0,872	1,13	14	49	4,26	0,94	1,57	3	0	-3	51,9%	47,2%	12/05/15
31	31	37,0	3,0	2,0	1,13	3,433	72	0,548	0,706	0,54						3	0	-3	54,7%	51,4%	13/05/15
32	32	41,0	4,0	1,0	1,22	3,415	72	0,823	0,792	0,81	15	1	0,07	0,21	-0,82	3	0	-3	58,7%	56,9%	14/05/15
33	33	47,0	6,0	2,0	1,36	3,462	72	1,379	0,911	1,35						3	0	-3	65,3%	65,3%	15/05/15

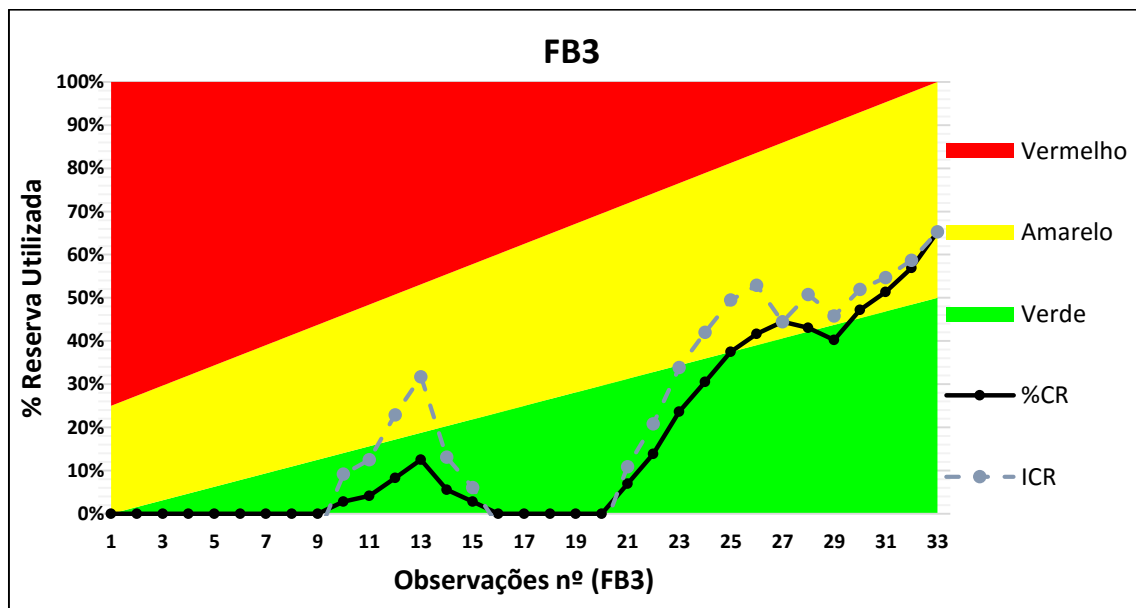


Figura III. 16 – Gráfico do Consumo da FB3.

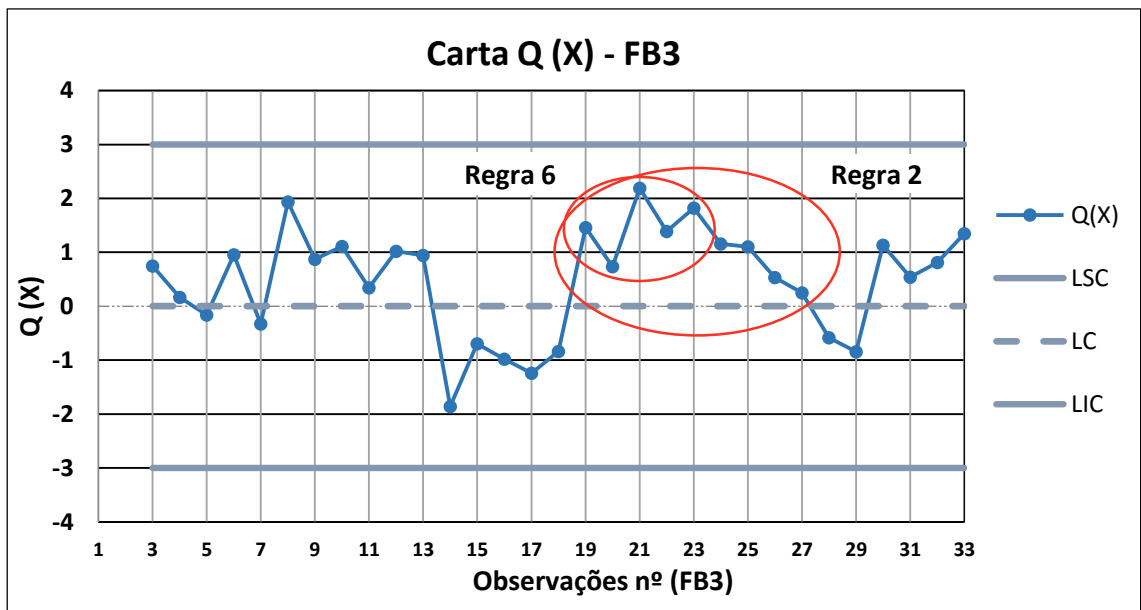


Figura III. 17 – Carta Q (X) da FB3.

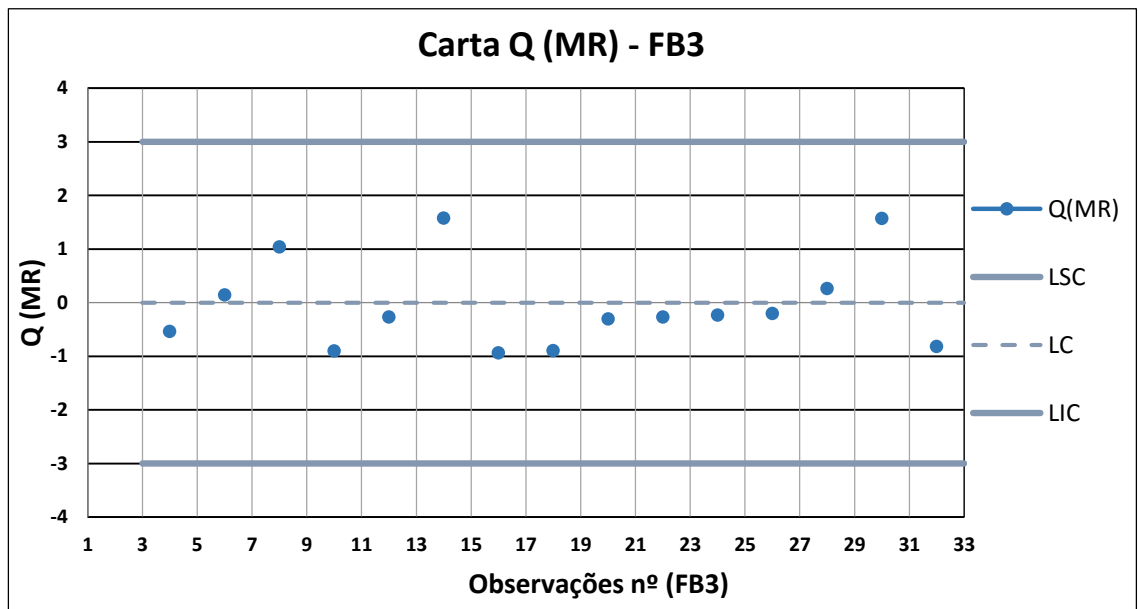


Figura III. 18 – Carta Q (MR) da FB3.

Tabela III. 11 – Carta CUSUMQ da FB3.

CUSUMQ - FB3								
α	0,27%	$T_t = \min(0, T_{t-1} + (Q_t + k)) \quad , \quad T_0 = 0$ $C_t = \max(0, C_{t-1} + (Q_t - k)) \quad , \quad C_0 = 0$ $T_t < -h$ ou $C_t > +h$						
$ARL=1/\alpha$	370							
n	1							
$\Delta=\delta\sigma$	1							
δ	1							
k	0,5							
h	4,40							
C_0	0							
T_0	0							
t	Q(x)	C	N _C	T	N _T	h	h-	Data
1								30/03/15
2								31/03/15
3	0,75	0,25	1	0,00	0	4,40	-4,40	01/04/15
4	0,17	0,00	0	0,00	0	4,40	-4,40	02/04/15
5	-0,16	0,00	0	0,00	0	4,40	-4,40	06/04/15
6	0,95	0,45	1	0,00	0	4,40	-4,40	07/04/15
7	-0,33	0,00	0	0,00	0	4,40	-4,40	08/04/15
8	1,93	1,43	1	0,00	0	4,40	-4,40	09/04/15
9	0,87	1,80	2	0,00	0	4,40	-4,40	10/04/15
10	1,11	2,41	3	0,00	0	4,40	-4,40	13/04/15
11	0,34	2,26	4	0,00	0	4,40	-4,40	14/04/15
12	1,02	2,78	5	0,00	0	4,40	-4,40	15/04/15
13	0,94	3,22	6	0,00	0	4,40	-4,40	16/04/15
14	-1,86	0,86	7	-1,36	1	4,40	-4,40	17/04/15
15	-0,69	0,00	0	-1,55	2	4,40	-4,40	20/04/15
16	-0,98	0,00	0	-2,04	3	4,40	-4,40	21/04/15
17	-1,24	0,00	0	-2,78	4	4,40	-4,40	22/04/15
18	-0,84	0,00	0	-3,12	5	4,40	-4,40	23/04/15
19	1,46	0,96	1	-1,15	6	4,40	-4,40	24/04/15
20	0,74	1,20	2	0,00	0	4,40	-4,40	27/04/15
21	2,19	2,89	3	0,00	0	4,40	-4,40	28/04/15
22	1,39	3,78	4	0,00	0	4,40	-4,40	29/04/15
23	1,82	5,10	5	0,00	0	4,40	-4,40	30/04/15
24	1,16	5,76	6	0,00	0	4,40	-4,40	04/05/15
25	1,10	6,36	7	0,00	0	4,40	-4,40	05/05/15
26	0,53	6,40	8	0,00	0	4,40	-4,40	06/05/15
27	0,25	6,15	9	0,00	0	4,40	-4,40	07/05/15
28	-0,58	5,06	10	-0,08	1	4,40	-4,40	08/05/15
29	-0,85	3,72	11	-0,43	2	4,40	-4,40	11/05/15
30	1,13	4,35	12	0,00	0	4,40	-4,40	12/05/15
31	0,54	4,39	13	0,00	0	4,40	-4,40	13/05/15
32	0,81	4,71	14	0,00	0	4,40	-4,40	14/05/15
33	1,35	5,55	15	0,00	0	4,40	-4,40	15/05/15

Tabela III. 12 – Carta EWMAQ da FB3.

EWMAQ - FB3						
α	0,27%	<div> $LSC_E = E_0 + K \sigma_E = K \sigma_E$ $LC_E = E_0 = 0$ $LIC_E = E_0 - K \sigma_E = -K \sigma_E$ </div> <div> $\sigma_E^2 = \sigma_Q^2 \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) (1 - (1-\lambda)^{2t}) = \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) (1 - (1-\lambda)^{2t})$ </div> <div> $E_t = (1-\lambda) E_{t-1} + \lambda Q_t, \quad E_0 = \mu_Q = 0$ </div>				
$ARL=1/\alpha$	370					
$\Delta=\delta\sigma$	1					
δ	1					
λ	0,15					
K	2,8					
σ_E^2	0,176					
σ_E	0,420					
E_0	0					
t	Q(x)	E	LIC	LC	LSC	Data
1						30/03/15
2						31/03/15
3	0,75	0,11	-1,18	0,00	1,18	01/04/15
4	0,17	0,12	-1,18	0,00	1,18	02/04/15
5	-0,16	0,08	-1,18	0,00	1,18	06/04/15
6	0,95	0,21	-1,18	0,00	1,18	07/04/15
7	-0,33	0,13	-1,18	0,00	1,18	08/04/15
8	1,93	0,40	-1,18	0,00	1,18	09/04/15
9	0,87	0,47	-1,18	0,00	1,18	10/04/15
10	1,11	0,57	-1,18	0,00	1,18	13/04/15
11	0,34	0,53	-1,18	0,00	1,18	14/04/15
12	1,02	0,61	-1,18	0,00	1,18	15/04/15
13	0,94	0,66	-1,18	0,00	1,18	16/04/15
14	-1,86	0,28	-1,18	0,00	1,18	17/04/15
15	-0,69	0,13	-1,18	0,00	1,18	20/04/15
16	-0,98	-0,03	-1,18	0,00	1,18	21/04/15
17	-1,24	-0,22	-1,18	0,00	1,18	22/04/15
18	-0,84	-0,31	-1,18	0,00	1,18	23/04/15
19	1,46	-0,04	-1,18	0,00	1,18	24/04/15
20	0,74	0,07	-1,18	0,00	1,18	27/04/15
21	2,19	0,39	-1,18	0,00	1,18	28/04/15
22	1,39	0,54	-1,18	0,00	1,18	29/04/15
23	1,82	0,73	-1,18	0,00	1,18	30/04/15
24	1,16	0,80	-1,18	0,00	1,18	04/05/15
25	1,10	0,84	-1,18	0,00	1,18	05/05/15
26	0,53	0,80	-1,18	0,00	1,18	06/05/15
27	0,25	0,71	-1,18	0,00	1,18	07/05/15
28	-0,58	0,52	-1,18	0,00	1,18	08/05/15
29	-0,85	0,32	-1,18	0,00	1,18	11/05/15
30	1,13	0,44	-1,18	0,00	1,18	12/05/15
31	0,54	0,45	-1,18	0,00	1,18	13/05/15
32	0,81	0,51	-1,18	0,00	1,18	14/05/15
33	1,35	0,63	-1,18	0,00	1,18	15/05/15

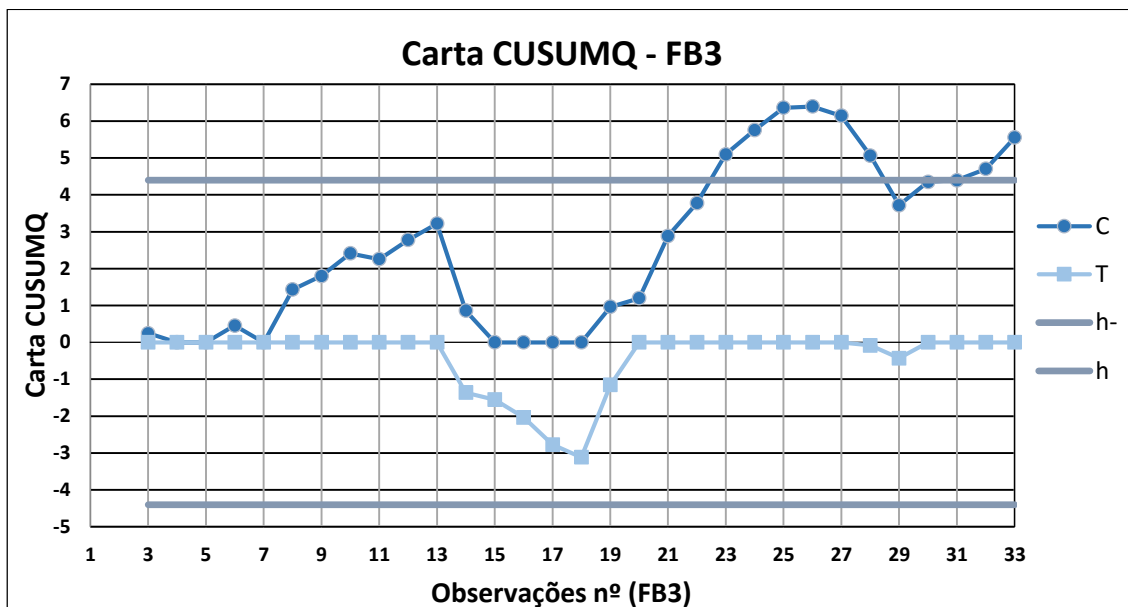


Figura III. 19 – Carta CUSUMQ da FB3.

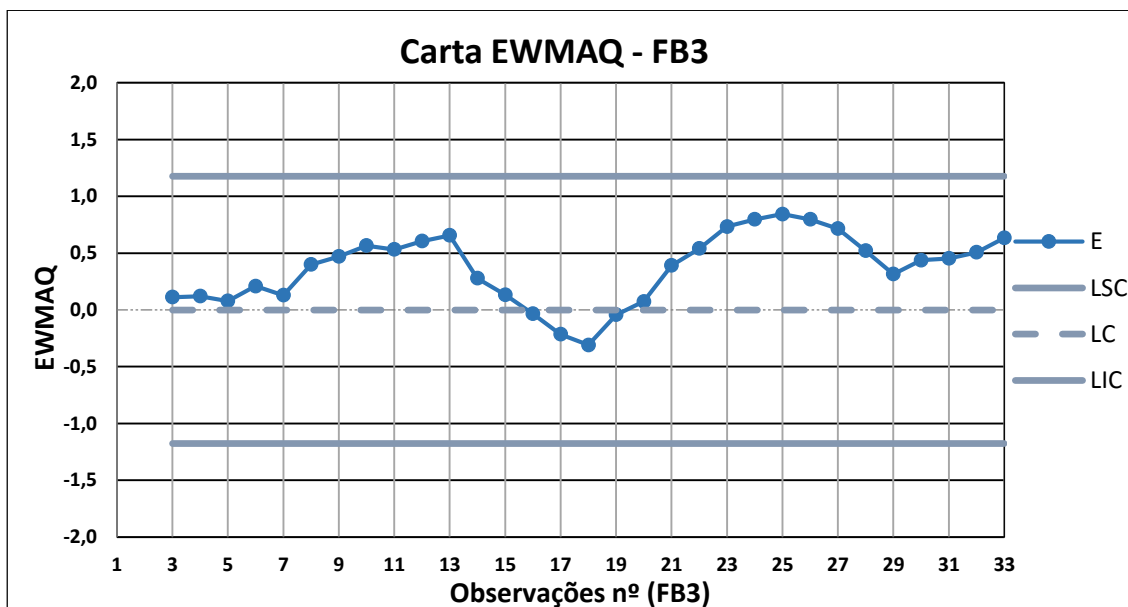


Figura III. 20 – Carta EWMAQ da FB3.

ANEXO IV – PLANO BASE DO PROJETO

Anexo IV – Plano Base do Projeto

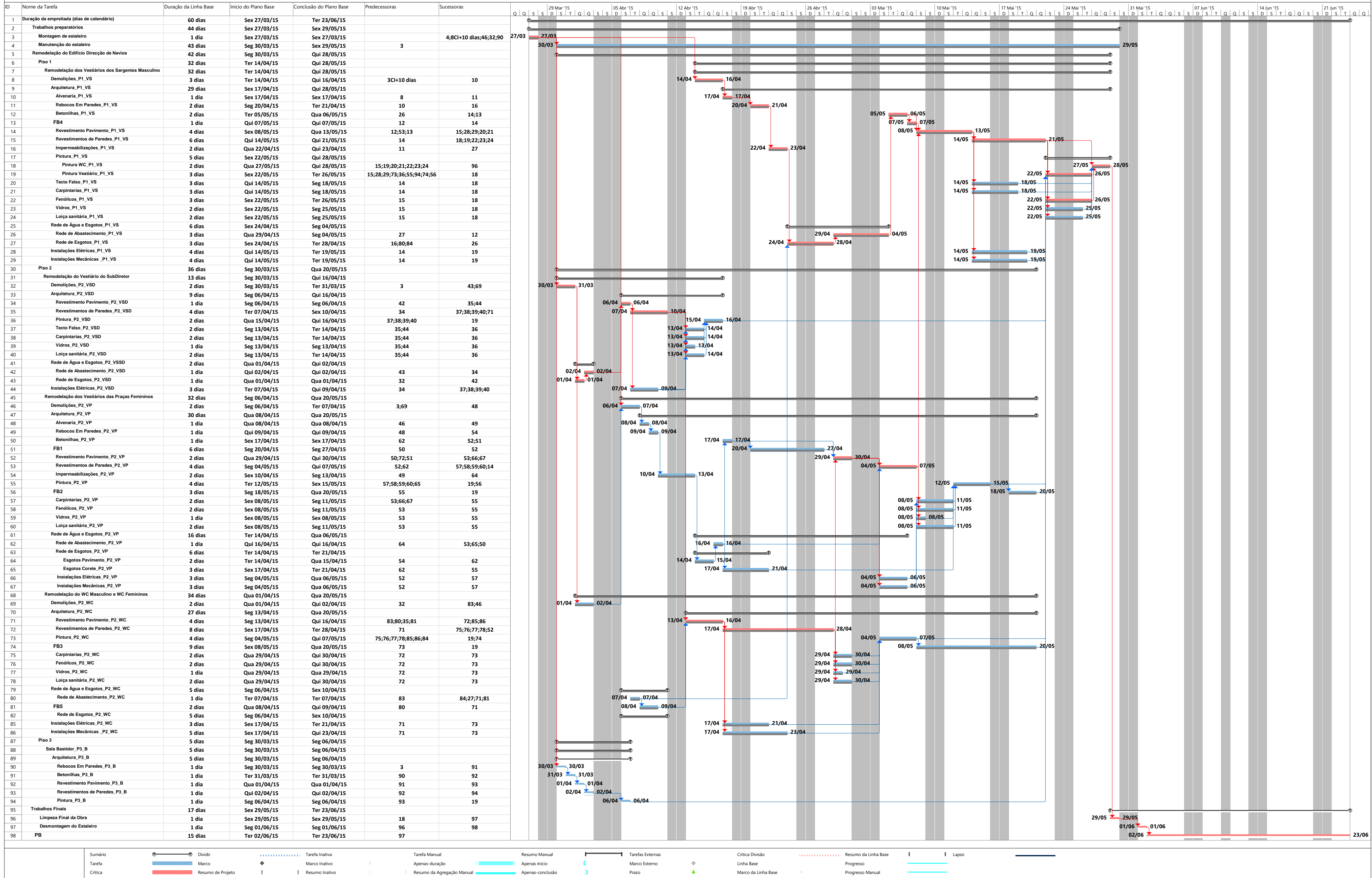


Figura IV.1 – Plano Base do Projeto.